



Vlaanderen
is milieu



Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

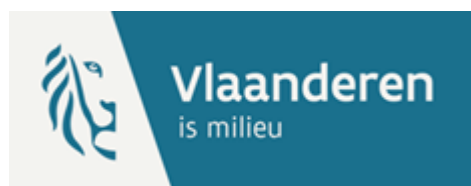
Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

Dirk Lauwaet, Koen De Ridder, Bino Maiheu, Hans Hooyberghs en Filip Lefebre

VITO NV
Boeretang 200 - 2400 Mol

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

Onderzoeksrapport MIRA/2018/01



Titel: Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

Samenstellers

Leden begeleidende stuurgroep

Agentschap Zorg en Gezondheid: Koen Schoeters

Departement Omgeving : Jozefien Hermy, Griet Verstraeten, Peter Vervoort

Koninklijk Meteorologisch Instituut: Rafiq Hamdi

KULeuven: Matthias Demuzere, Nicole van Lipzig, Hendrik Wouters

Leefmilieu Brussel: Olivier Brasseur, Véronique Schoemann

Instituut voor Natuurbehoud en Bosbeheer: Beatrijs Van der Aa

Stad Antwerpen: Griet Lambrechts

Stad Brugge: Diane Patfoort, Caroline Vander Steen

Stad Gent: Maaïke Breugelmans, Greet Steeman

Stad Hasselt: Bright Adiyia, Erica Lemmens

UGent: Steven Caluwaerts

Dit onderzoeksproject levert een uitbreiding van de bestaande MIRA-indicator voor het hitte-eilandeffect naar de steden Gent, Lier, Brugge, Hasselt en Brussel & omgeving. Het bestaande model UrbClim werd gevalideerd aan de hand van deze metingen, en vervolgens ingezet om kaartmateriaal te genereren over het voorkomen van het hitte-eilandeffect, dekkend voor heel Vlaanderen in een resolutie van 100 m. Dat kaartmateriaal werd opgemaakt zowel voor de bestaande toestand (2000-2015) als voor verschillende scenario's (met wijzigingen in klimaat en ruimtelijke ordening) tot 2100.

Lauwaet D., De Ridder K., Maiheu B., Hooyberghs H.en Lefebre F. (2018), Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2018/01, VITO.

Verantwoordelijke uitgever: Michiel Van Peteghem, Vlaamse Milieumaatschappij

Vragen in verband met dit rapport: Vlaamse Milieumaatschappij, Milieuraapportering (MIRA), Stationsstraat 110, 2800 Mechelen, tel. 053 72 67 35, mira@vmm.be

Depotnummer: D/2018/6871/002

ISBN: 9789491385643

NUR: 973/943

INHOUDSTAFEL

DOCUMENTBESCHRIJVING	4
Inhoudstafel.....	5
Inhoudstafel figuren	7
inhoudstafel tabellen.....	13
SAMENVATTING	15
SUMMARY	17
1 Perceel 1: Uitbreiding van de MIRA-indicator rond in situ metingen naar andere steden	19
1.1 Inleiding.....	19
1.2 Lijst inzetbare metingen.....	19
1.2.1 Antwerpen	20
1.2.2 Brugge	26
1.2.3 Brussel.....	28
1.2.4 Gent.....	33
1.2.5 Hasselt.....	34
1.2.6 Lier.....	35
1.2.7 Overzicht	36
1.3 Protocol voor de verwerking van ruwe data tot indicator	36
1.3.1 De ruwe data.....	37
1.3.2 Rekening houden met de meetfrequentie van de data.....	38
1.3.3 Ontbrekende data	39
1.3.4 Berekening dagelijkse Tmin en Tmax waarden.....	41
1.3.5 Berekening van HGD indicatorwaarden.....	41
1.4 Resultaten voor de zes steden	42
1.4.1 Antwerpen	42
1.4.2 Brugge	45
1.4.3 Brussel.....	46
1.4.4 Gent.....	48
1.4.5 Hasselt.....	50
1.4.6 Lier.....	51
1.4.7 Overzicht	53
2 Perceel 2: Het genereren van kaartmateriaal dekkend voor heel Vlaanderen	54
2.1 Inleiding.....	54
2.2 Beschrijving modellering basiskaarten	55
2.3 Validatie basiskaart	57
2.3.1 Antwerpen	58
2.3.2 Brugge	66

////////////////////////////////////

Figuur 1. Locaties van de beschouwde meetstations voor de zes steden waar een berekening van de hitte-indicator gebeurt. Voor de coördinaten van elk van deze stations, zie bijlage 1.	20
Figuur 2. VITO meetstations in Vremde (links) en aan de VMM meetsite van de Plantin en Moretuslei (rechts).	21
Figuur 3. Dagelijkse Tmax (rood) en Tmin (blauw) waarden voor april-september 2014, voor de stations Borgerhout/VITO (boven) en Borgerhout/VMM (onder). De horizontale stippellijnen komen overeen met de drempelwaarden van 18.2 °C (blauw) en 29.6 °C (rood) die gebruikt worden in de berekening van de hitte-indicator. De dikke zwarte lijnstukken tonen overschrijding van de dagelijkse temperatuurwaarden boven de drempelwaarden, wanneer uitgemiddeld over drie dagen. In het midden onderaan wordt telkens de HGD indicatorwaarde van het betreffende jaar gegeven.	21
Figuur 4. Zoals in Figuur 3, maar voor het jaar 2015.	22
Figuur 5. Zoals in Figuur 3, maar voor het jaar 2017.	22
Figuur 6. KMI meetstation in Stabroek. Bron: KMI.	23
Figuur 7. Zoals in Figuur 3, maar voor de stations Vremde/VITO (boven) en Stabroek/KMI (onder), voor het jaar 2012.	24
Figuur 8. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2013.	24
Figuur 9. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2014.	25
Figuur 10. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2017.	25
Figuur 11. Zoals in Figuur 3, maar voor de stations Stabroek/KMI (boven) en St. Katelijne-Waver/KMI (onder), voor het jaar 2013.	26
Figuur 12. VITO/Koenders meetstation aan de Verversdijk (Brugge).	27
Figuur 13. VMM meetstation in Moerkerke, bij Brugge.	28
Figuur 14. Meetopstelling in Molenbeek (Brussel). De bovenste witte behuizing (met geforceerde ventilatie) herbergt een tijdelijk geïnstalleerde temperatuursensor van VITO. De behuizing met lamellen net linksonder ervan bevat de Leefmilieu Brussel sensor.	29
Figuur 15. Temperatuur op 3 m hoogte in Molenbeek, zoals gemeten door Leefmilieu Brussel (rood) en VITO (blauw).	30
Figuur 16. Tijdsreeks van Tmin (blauw) en Tmax (rood) voor de site Molenbeek, gemeten door Leefmilieu Brussel (boven) en VITO (onder), en met de HGD waarde telkens onderaan in het midden.	31
Figuur 17. Meetopstelling in Liedekerke.	32
Figuur 18. UGent meetstation aan het provinciehuis in Gent.	33
Figuur 19. UGent station in de Plantentuin (Gent).	33
Figuur 20. VITO/Koenders station bij de Technische Dienst (Hasselt).	34
Figuur 21. KMI station in Diepenbeek (Hasselt).	35
Figuur 22. VITO/Koenders station aan CC Vredeberg (Lier).	36
Figuur 23. Dagcycli van temperatuur voor station VMM-Borgerhout, voor dagen in 2015 met minder dan 10 % ontbrekende data.	39
Figuur 24. Schematische voorstelling van het criterium gebaseerd op Tmin om een gegeven dag al dan niet te weerhouden in de berekening van de HGD indicator. Links wordt een fictieve dagcyclus getoond van	

7

Figuur 25. Dagelijkse T_{min} (blauw) en T_{max} (rood) waarden bekomen uit 30-min temperatuurdata van het VMM-Borgerhout station, voor het jaar 2015. Bovenaan bevindt zich de tijdsreeks die bekomen werd na het uitsluiten van alle dagen met ontbrekende data, en onderaan wordt de tijdsreeks getoond na bewerking, d.w.z. het alsnog meenemen van dagen met beperkt ontbrekende data volgens de criteria beschreven in de tekst. Bemerk ook de verschillende berekende HGD waarden in beide gevallen, waarbij de onderste waarde van 24.4 °C.d veel beter overeenkomt met de waarde berekend op basis van de VITO Antwerpen metingen op dezelfde locatie.40

Figuur 27. Zoals Figuur 26, maar voor het jaar 2016.....44

Figuur 28. Zoals Figuur 26, maar voor het jaar 2017.....44

Figuur 29. Zoals Figuur 26, maar voor Brugge gedurende het jaar 2016. Er dient opgelet met de vermelde indicatorwaarde voor het stedelijk station: vermits de tijdsreeks voor 2016 in dit station onvolledig is, is de berekende indicatorwaarde niet representatief voor het ganse jaar 2016, en wordt hij enkel ter informatie meegegeven.45

Figuur 30. Zoals Figuur 26, maar voor Brugge gedurende het jaar 2017.....46

Figuur 31. Zoals Figuur 26 maar voor Brussel, in 2016.....46

Figuur 32. Zoals Figuur 26 maar voor Brussel, in 2017.....47

Figuur 33. Zoals Figuur 26, maar voor Gent Provinciehuis (boven), Plantentuin (midden), en Melle (onder) in 2016.48

Figuur 34. Zoals Figuur 26, maar voor Gent Provinciehuis (boven), Plantentuin (midden), en Melle (onder) in 2017.49

Figuur 35. Zoals Figuur 26, maar voor Hasselt gedurende het jaar 2016. Zoals voor het geval van Brugge dient opgelet met de indicatorwaarde voor het stedelijke station: vermits de tijdsreeks voor 2016 in dit station onvolledig is, is de berekende indicatorwaarde niet representatief voor het ganse jaar 2016, en wordt hij enkel ter informatie meegegeven.50

Figuur 36. Zoals Figuur 26, maar voor Hasselt gedurende het jaar 2017.51

Figuur 37. Zoals Figuur 26, maar voor Lier gedurende het jaar 2016. Omdat de data van VITO-Vremde (dichtsbijgelegen ruraal station) onvolledig waren voor de zomer van 2016 wordt hier gebruik gemaakt van de data van KMI-Stabroek.52

Figuur 38. Zoals Figuur 26, maar voor Lier gedurende het jaar 2017.52

Figuur 39: Schematische voorstelling van het UrbClim model.55

Figuur 40: Overzicht van de bedekking van Vlaanderen door de 32 UrbClim modeldomeinen.....56

Figuur 41: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Antwerpen om 23u tijdens de zomer van 2013.58

Figuur 95: Evolutie van het aantal hittegolfdagen per jaar in Vlaanderen en Brussel voor alle klimaatscenario's in combinatie met de landgebruiksveranderingen.109

Figuur 96: Tijdsreeks van T_{min} (blauw) en T_{max} (rood) voor station Provinciehuis (UGent) voor de periode juli-september 2016, met telkens de HGD waarde er bij vermeld. Bovenaan bevindt zich het resultaat gebaseerd op de oorspronkelijke 1-min meetgegevens, en vervolgens worden, naar beneden toe, de resultaten getoond die afgeleid zijn uit tijdsreeksen verkregen door de 1-min waarden uit te middelen naar 10, 15, en 30 minuten. De onderste grafiek toont resultaten bekomen door 1-minuutswaarden op het uur te nemen.134

Tabel 1. Lijst van de inzetbare stedelijke en rurale metingen voor de zes steden. De <i>schuingedrukte</i> tekst verwijst naar stations die als valabel alternatief kunnen dienen.....	36
Tabel 2.Tijdsresolutie van de ruwe data, en hun formaat, per operator.....	37
Tabel 3. Hittegolfgraaddagen (HGD, in °C.dag) voor Antwerpen en Gent. De jaren 2012-2014 waren voor Antwerpen eerder reeds beschikbaar (De Ridder et al., 2015a), de nieuw berekende waarden voor 2015-2016-2017 staan in het rood aangegeven. De ‘*’ duidt op een HGD waarde berekend met data van het KMI station in Stabroek i.p.v. het VITO station in Vremde.....	53
Tabel 4: Overzicht van de stations die gebruikt zijn voor de modelvalidatie.	57
Tabel 5: Overzicht van de gemeten en gemodelleerde gemiddelde minimale en maximale 2m luchttemperaturen (°C) en het aantal hittegolfgraaddagen (°C.d.) in alle meetstations voor de zomer van 2016. Merk op dat de meetreeksen niet even lang zijn in alle stations, waardoor het niet mogelijk is om de resultaten tussen de verschillende steden/stations onderling te vergelijken.	86
Tabel 6: Resultaat van de Monte Carlo simulatie op het aantal hittegolfgraaddagen (°C.d). De kolommen tonen respectievelijk de geobserveerde waarde (Obs), de gemodelleerde waarde (Mod), het gemiddelde (Mean), de standaard deviatie (Std) en de minimale (Min) en maximale (Max) bereikte waarden van de Monte Carlo simulatie.	88
Tabel 7: Statistieken van het aantal hittegolfgraaddagen en hittegolfdagen per jaar tijdens de periode 2000-2016 in het Vlaamse Gewest.....	91
Tabel 8: Overzicht van de gebruikte percentielen en periodes uit de MIRA-klimaatscenario’s in de huidige studie.	94
Tabel 9: Overzicht van de gebruikte percentielen en periodes uit de CMIP5-klimaatscenario’s in de huidige studie.	96
Tabel 10: Validatiestatistieken van de statistische methode voor landgebruikveranderingen.....	103
Tabel 11: Overzicht van de data uit Figuur 93.....	107
Tabel 12: Overzicht van het minimum, gemiddeld en maximum aantal hittegolfgraaddagen in Vlaanderen (in °C.d.) voor alle scenarios van deze studie.....	110
Tabel 13: Overzicht van het minimum, gemiddeld en maximum aantal hittegolfdagen in Vlaanderen voor alle scenarios van deze studie.	110
Tabel 14: Overzicht van alle geproduceerde kaarten voor dit project, opgesplitst naar beschouwde indicatoren, zichtjaren en scenario’s. Het kaartmateriaal toont telkens het gemiddelde over alle zomerperiodes van de beschouwde tijdvensters. De combinaties van velden met gekleurde achtergrond zullen opgenomen worden in de eerste versie van het Klimaatportaal Vlaanderen dat VMM in 2018 lanceert. De overige kaarten kunnen rechtstreeks opgevraagd worden bij VMM-MIRA.....	112
Tabel 15. Overzicht van de inzetbare stations (vetgedrukt), de beheerder, en de geografische coördinaten van elk. De namen van de stedelijke stations zijn in het rood, die van de rurale in het blauw, en de stedelijke parklocatie in Gent is in het groen weergegeven. De ‘back-up’ stations (Borgerhout-VMM, Stabroek-KMI) staan in italic.....	116
Tabel 16.Overzicht van de duur van de tijdsmiddeling toegepast op de gemeten temperatuurwaarden, per bron van data.	133

13

Tabel 17. HGD indicatorwaarden (in °C.d) voor elk van de UGent meetstations, bekomen uit de oorspronkelijke 1-min temperatuurbedata (HGD01), en uit tijdsreeksen van temperatuur ontstaan door de 1-min tijdsreeks met een glijdend gemiddelde te behandelen, over intervallen van 10 (HGD10), 15 (HGD15) en 30 minuten (HGD30). De benaming HGD1/60 verwijst naar minuutdata om het uur. 135

Tabel 18. Root mean square error (RMSE) (bovenaan) en bias (onderaan) in T_{min} en T_{max} van de temperatuurbedata met verschillende tijdsintervallen (1, 10, 30 min) ten opzichte van de 15-min data, in °C, voor de UGent meetstations in de periode juli-september 2016. De verwijzing '1/60 min' slaat op minuutdata om het uur. De eenheid is telkens °C. 135

SAMENVATTING

Van alle weerextremen zijn, in Europa, hittegolven de meest dodelijke (Forzieri et al., 2017). De verwachting is dat met de klimaatverandering hittegolven in de toekomst verder zullen toenemen in aantal, duur, en sterkte. Hittegolven zoals die van 2003 – en erger – kunnen later deze eeuw de norm worden.

Steden hebben meer dan andere gebieden te lijden onder hittegolven. Dit komt door het hitte-eilandeffect, waarbij steden gemiddeld enkele graden warmer zijn dan hun landelijke omgeving. Op sommige momenten kunnen de temperatuurverschillen oplopen tot 7-8 °C en meer. Hierdoor doen hittegolven zich in steden uiteraard meer gevoelen. Steden zijn bovendien erg vatbaar voor klimaatextremen door de hoge concentratie aan (kwetsbare) mensen, infrastructuur, en economische activiteit.

De voorliggende studie kwantificeert hitte in Vlaanderen, met een bijzondere focus op steden. Daarbij behandelen we zowel waargenomen hitte als gesimuleerde projecties voor de toekomst.

Het eerste deel behandelt waargenomen hittegolff-indicatorwaarden voor de afgelopen jaren, samengesteld op basis van temperatuurmetingen. We maken daarbij gebruik van de zogenaamde ‘hittegolffgraaddagen’, een grootheid die gebaseerd is op een definitie van de FOD Volksgezondheid, die zowel de duur als de sterkte van hittegolven in een zomerperiode weergeeft, en die zodoende een eerste inschatting geeft van de hittestress waaraan bewoners worden blootgesteld. In de laatste decennia waren 2003 en 2006 de jaren met de hoogste waarden in België. Net in die zomers registreerde het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid ook de hoogste oversterfte¹.

In een eerdere studie voor MIRA (De Ridder et al., 2015a) hadden we reeds hittegolffgraaddagen berekend op basis van temperatuurmetingen in het Antwerpse. In de huidige studie is het aantal temperatuurmeetposten uitgebreid naar vijf bijkomende steden: Brugge, Brussel, Gent, Hasselt, en Lier. Deze groep omvat een representatieve steekproef van steden, met een variërend inwoneraantal (enkele tienduizenden tot meer dan een miljoen) en geografische spreiding (van de Kust tot in Limburg).

In elk van deze steden gebruiken we temperatuurmetingen op telkens zowel een stedelijke als een rurale locatie. Ondanks het feit dat we momenteel slechts over data van een beperkte periode beschikken, komt er toch al een duidelijk patroon naar voren. In vergelijking met nabijgelegen rurale gebieden worden steden gekenmerkt door een systematisch hoger aantal hittegolffgraaddagen. Verder stijgt het geregistreerde aantal hittegolffgraaddagen met de grootte van de stad, en met de afstand tot de Kust. En in Gent, waar we toegang hebben tot klimaatmetingen in een stedelijk park, blijkt duidelijk de temperende werking van groen in de stad.

In het tweede deel van de studie hebben we hittekaarten aangemaakt voor gans Vlaanderen en het Brussels Gewest, voor zowel het huidige klimaat (2000-2016) als voor de periodes rond 2030, 2050 en 2100, met verschillende gradaties van klimaatverandering. Ook de invloed van een wijzigende ruimtelijke ordening volgens een ‘business as usual’ scenario werd begroot. Daarbij werd gebruik gemaakt van computersimulaties met VITO’s stedelijk klimaatmodel *UrbClim*. De resulterende kaarten bevatten een

¹ <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/klimaatverandering/gezondheidseffecten-van-klimaatverandering/slachtoffers-bij-hittegolven-in-belgi-euml/>

SUMMARY

Among extreme weather phenomena, heat waves are the most lethal (Forzieri et al., 2017). With climate change, it is expected that in the future heatwaves will occur more frequently, be longer and more intense. Heatwaves such as the one of 2003 – and worse – could become fairly mainstream.

Cities suffer more from heat stress than other areas. This is related to the heat island effect, by which cities are warmer by a few degrees on average, compared to nearby rural areas. Under certain circumstances, the temperature difference may increase to 7-8 °C and more. Because of that, heatwaves are felt harder in cities. In addition, cities are rather sensitive to climate extremes, because of the high concentration of (vulnerable) people, infrastructure and economic activity.

The present study quantifies heat stress in the Flemish Region, with a particular focus on urban areas, and considering both observed heat and simulated projections for the future.

In a first part, we describe observed heat indicators for the past years, using observed temperature time series as a basis. To do so, we make use of the so-called ‘heatwave degree days’, which is a quantity derived from a heat definition by the Federal Public Service Health, which accounts for both the duration and the intensity of a heat episode, thus presenting an estimate of the heat stress the population is exposed to. In recent decades, the summers of 2003 and 2006 exhibited the largest values. In those summers, the Belgian Scientific Institute of Public Health also registered the highest excess mortality.

In a previous study for the MIRA programme (De Ridder et al., 2015a), we already calculated heatwave degree days based on temperature measurements in the Antwerp area. In the present study, temperature observation stations were extended to include an additional five cities: Bruges, Brussels, Ghent, Hasselt and Lier. This group of cities is fairly representative in terms of the number of inhabitants (from a few tens thousands to more than a million) as well as in terms of the geographical spread (from the coast to the eastern Limburg province).

In each of these cities we use temperature measurements on both urban and rural locations. Despite the fact that we currently only have data for a limited period of time, a clear pattern is already emerging. Compared to nearby rural areas, cities are characterised by a systematically higher number of heatwave degree days. Furthermore, the registered number of heatwave degree days increases with the size of the city, and with the distance to the Coast. And in Ghent, where we have access to climate measurements in an urban park, the dampening effect of greenery in the city is evident.

In the second part of this study, we have produced heat maps for the entire Flemish and Brussels Regions, considering both current (2000-2016) climate conditions and future estimates centred on the years 2030, 2050 and 2100, accounting for different degrees of climate change. In addition, we accounted for an evolving spatial planning according to a ‘business as usual’ scenario. In all this, we used the UrbClim numerical urban climate model developed at VITO. The resulting maps contain a level of spatial detail of 100 m, which is unprecedented considering the rather large simulation domain. It must be noted that the generation of these maps was quite a feat, requiring more than 1.6 million calculation hours on an advanced IT infrastructure.

As a first step we created maps containing the number of heatwave degree days for the period 2000-2016, serving as reference material ('current climate situation') to compare future climate simulations with. The maps demonstrate the urban effect on heat stress, with an average of 13 heatwave degree days in rural areas compared to 21 heatwave degree days in urban areas. The hot summers of 2003 and 2006 stand out, with

Figuur 1 toont de locaties van de beschouwde meetstations. Op het einde van dit rapport (bijlage 1 en bijlage 2) wordt nog een overzicht geboden, zowel wat betreft de gebruikte meetmethodes, als met betrekking tot de geografische locatie van de stations.

A satellite map of the Brussels region and surrounding areas. The study area is highlighted in yellow. Labels on the map include: Zeeland, North Brabant, Moerkerke, Verversdijk, Slabbeek, Borgerhout, Vremde, CC Vredeberg, Provinciehuis, Plantentuin, Melle, Liedekerke, Brussels, Molenbeek, Steenokkerzeel, Diepenbeek, and Belgium. The map shows the coastline of the North Sea to the west and the borders of Zeeland and North Brabant to the north and east.

Voor de periode 2012-2014 werd in de eerdere hitte-indicatorstudie (De Ridder et al., 2015a) gebruik gemaakt van de volgende VITO klimaatstations:

- De VITO metingen in Borgerhout werden voor 2014-2015 verder vergeleken met de VMM metingen op dezelfde locatie, namelijk VMM station 42R802 (zie Figuur 3). De overeenkomst voor 2014 is erg goed, wat een extra quality check inhoudt voor de VITO data, en wat op termijn eventueel zou moeten toelaten om, indien nodig (bv uitval VITO station), over te schakelen op de VMM data om de indicator te berekenen. De overeenkomst in 2015 (Figuur 4) is ook goed, ondanks ontbrekende data in de VMM tijdsreeks. Om de dagen met ontbrekende data op te vangen en alsnog te weerhouden in de HGD berekening wordt gebruik gemaakt

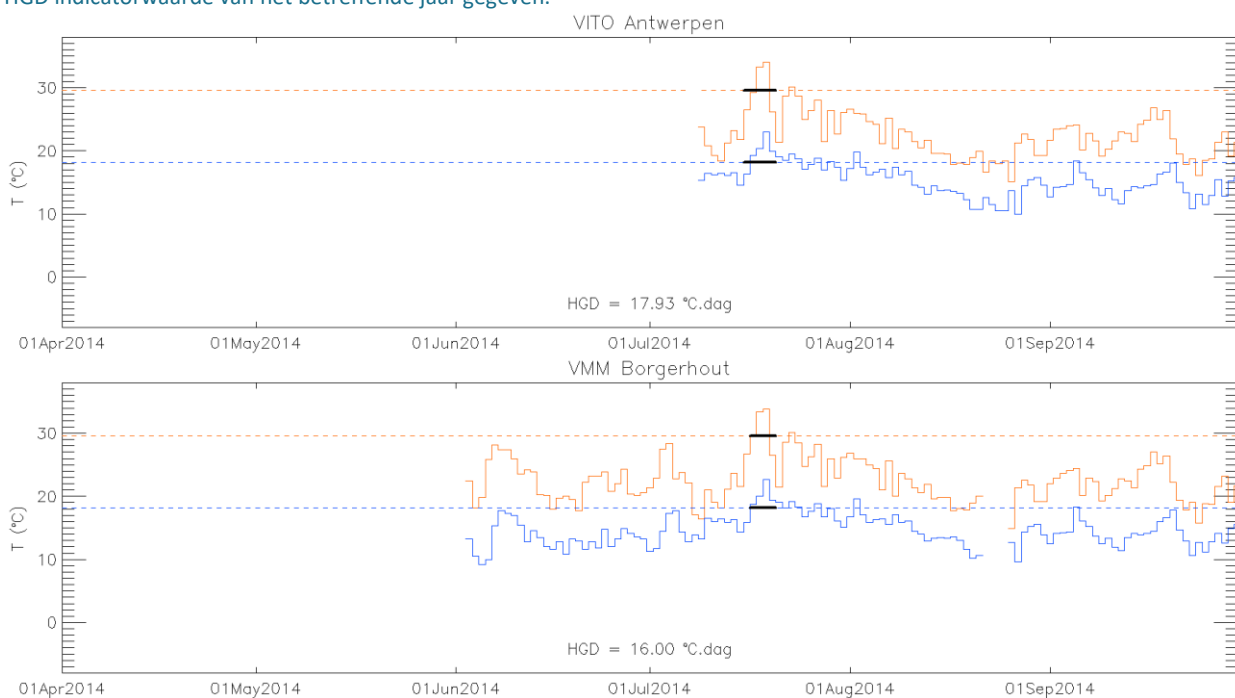
Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

van de methode beschreven in Sectie 1.3.3. Ook in 2017 was de overeenkomst tussen de metingen van VITO en VMM op de site van Borgerhout goed, zie Figuur 5.

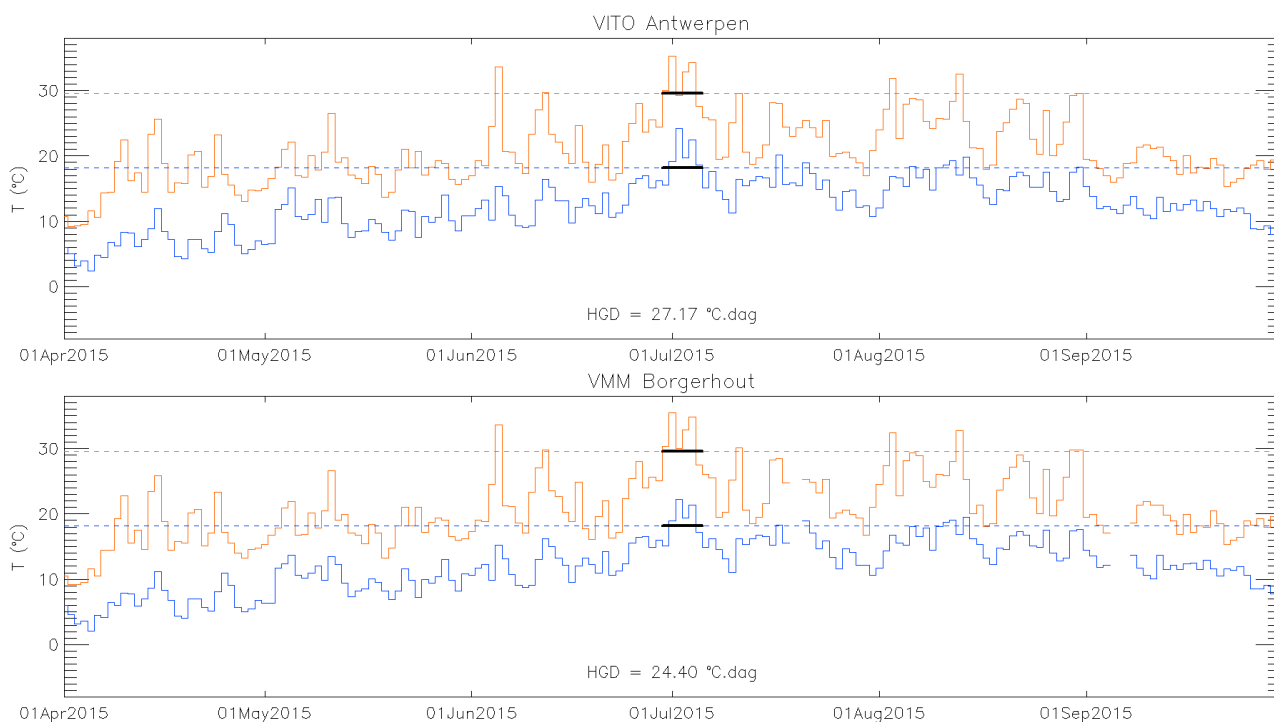
Figuur 2. VITO meetstations in Vremde (links) en aan de VMM meetsite van de Plantin en Moretuslei (rechts).



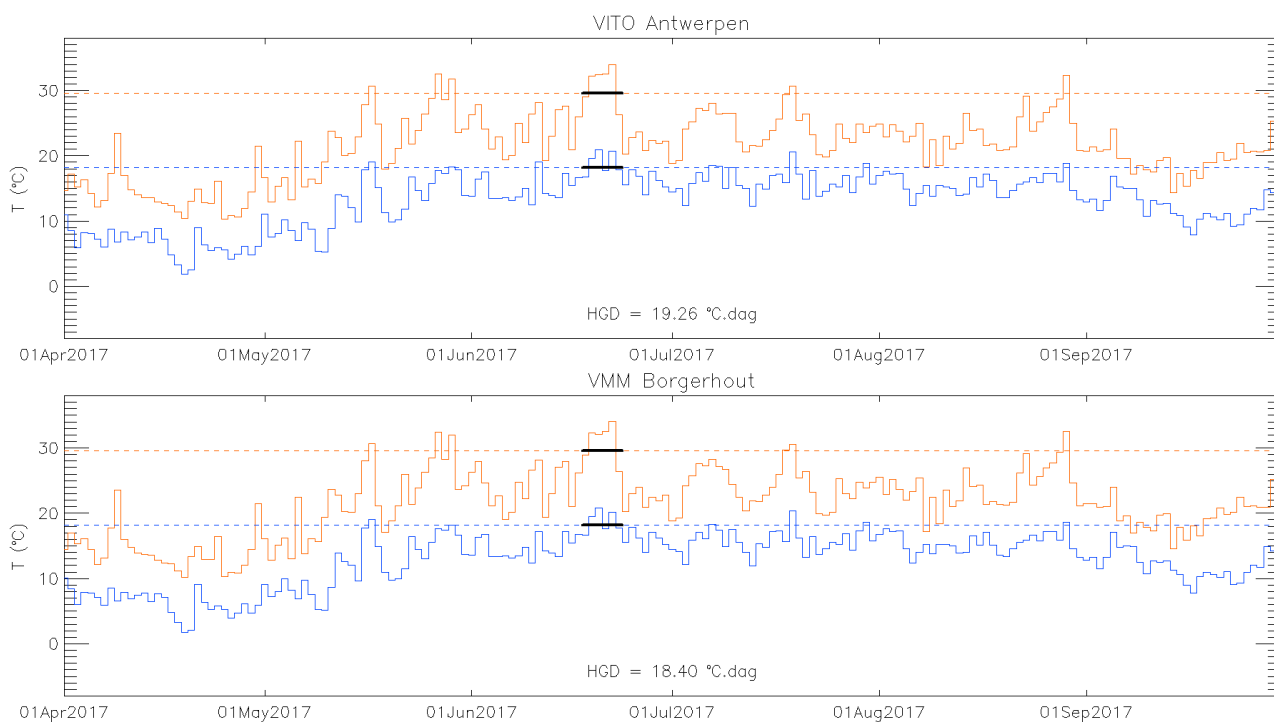
Figuur 3. Dagelijkse Tmax (rood) en Tmin (blauw) waarden voor april-september 2014, voor de stations Borgerhout/VITO (boven) en Borgerhout/VMM (onder). De horizontale stippellijnen komen overeen met de drempelwaarden van 18.2 °C (blauw) en 29.6 °C (rood) die gebruikt worden in de berekening van de hitte-indicator. De dikke zwarte lijnstukken tonen overschrijding van de dagelijkse temperatuurwaarden boven de drempelwaarden, wanneer uitgemiddeld over drie dagen. In het midden onderaan wordt telkens de HGD indicatorwaarde van het betreffende jaar gegeven.



Figuur 4. Zoals in Figuur 3, maar voor het jaar 2015.



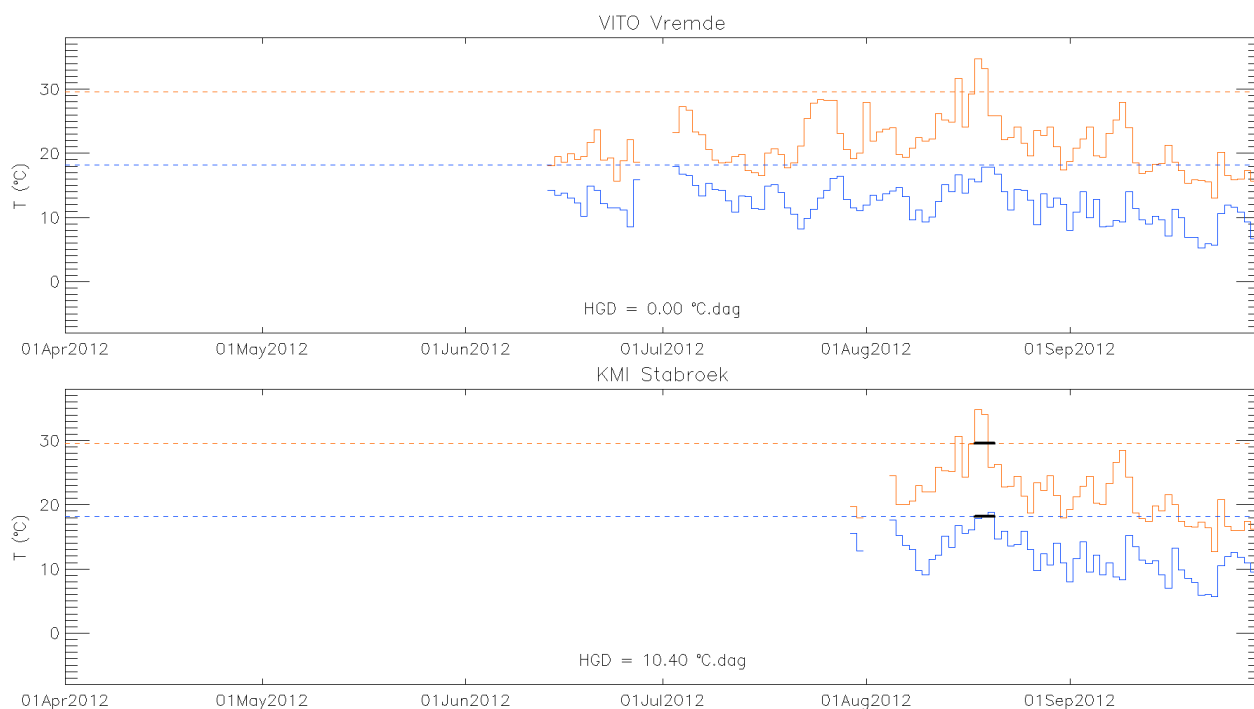
Figuur 5. Zoals in Figuur 3, maar voor het jaar 2017.



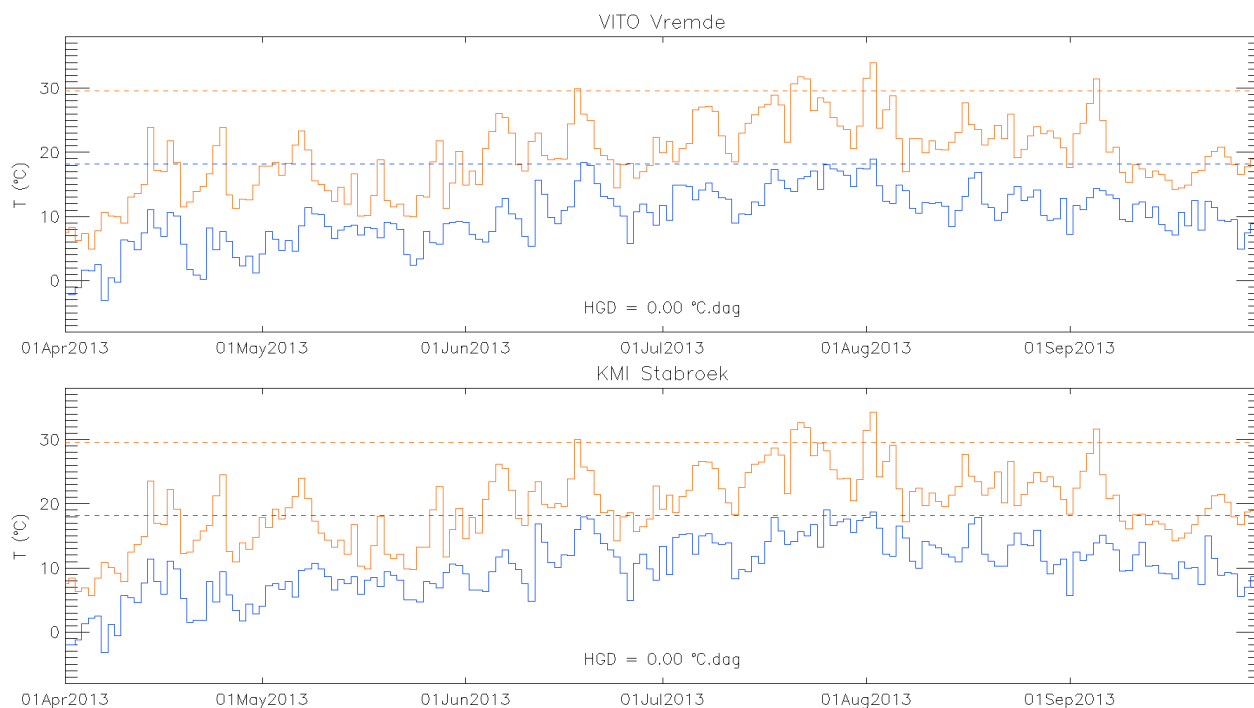
De vergelijking Vremde-Stabroek was gunstig (Figuur 7, Figuur 8, Figuur 9, Figuur 10), ondanks eerdere twijfels omtrent de locatie van Stabroek, nl. relatief dicht bij de haven – maar desondanks toch een excellent ruraal station, zo blijkt. Wel dient hier opgemerkt dat, gezien het gebruik van drempelwaarden in de definitie van de HGD, er soms verschillende indicatorwaarden berekend worden tussen Vremde en Stabroek, zelfs wanneer de tijdsreeksen van gemeten temperatuur onderling weinig afwijken. Als data in de ene tijdsreeks net over de drempel gaan, en in de andere niet, krijg je zulke effecten. Wat de procedure bijzonder gevoelig maakt is het feit dat, wanneer bv de Tmax waarden gedurende een bepaalde periode overschreden worden, de indicator heel gevoelig wordt aan het al dan niet overschrijden van de Tmin drempel. Indien in zo'n geval de Tmin drempel overschreden wordt, dan 'activeert' Tmin bij wijze van spreken een groot 'reservoir' aan HGD beschikbaar in Tmax. Dit fenomeen is duidelijk zichtbaar in Figuur 7, waar de tijdsreeksen van Tmax en Tmin in Vremde en Stabroek nagenoeg identiek zijn, en Vremde een HGD waarde van nul vertoont, terwijl Stabroek een HGD heeft van 10 °C.dag. Het is van belang te beseffen dat zulke verschillen onvermijdelijk zijn; ze vallen onder de typische onzekerheid op de indicatorwaarden.

A tall, silver metal tower with a solar panel on top, standing in a green field. A wooden fence with two strands of wire runs across the foreground. In the background, there are trees and power lines under a cloudy sky.

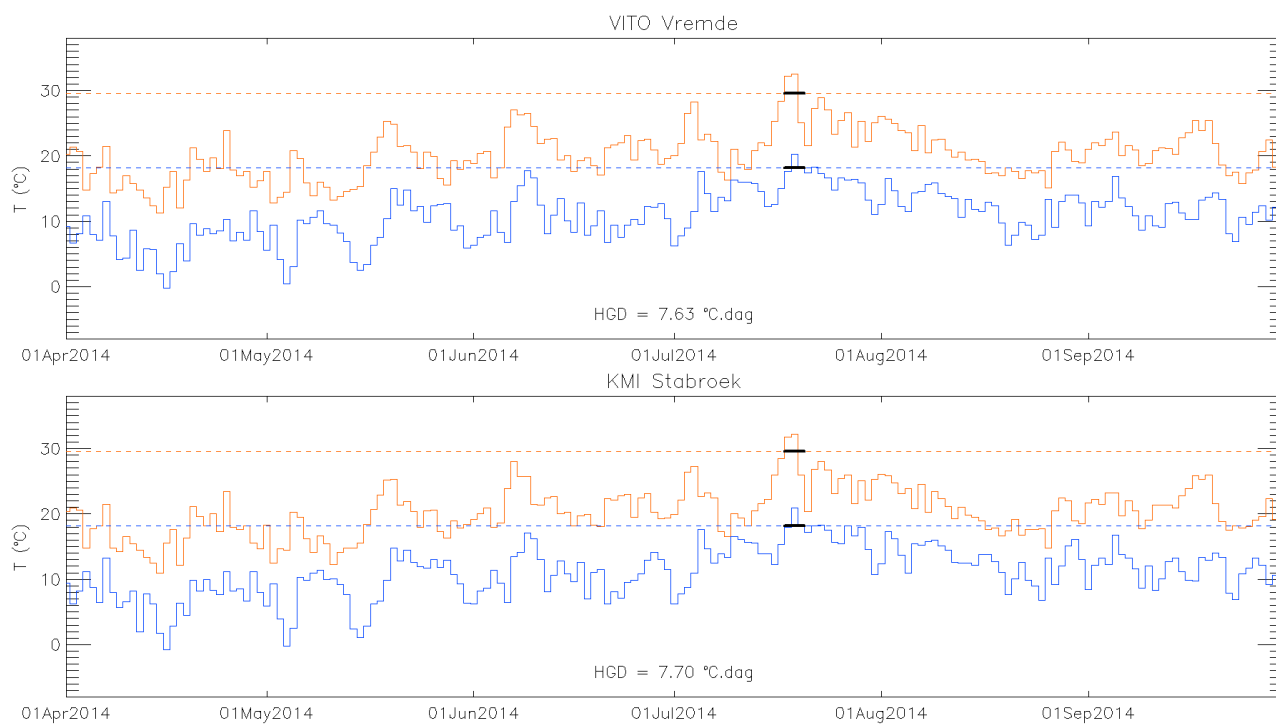
Figuur 7. Zoals in Figuur 3, maar voor de stations Vremde/VITO (boven) en Stabroek/KMI (onder), voor het jaar 2012.



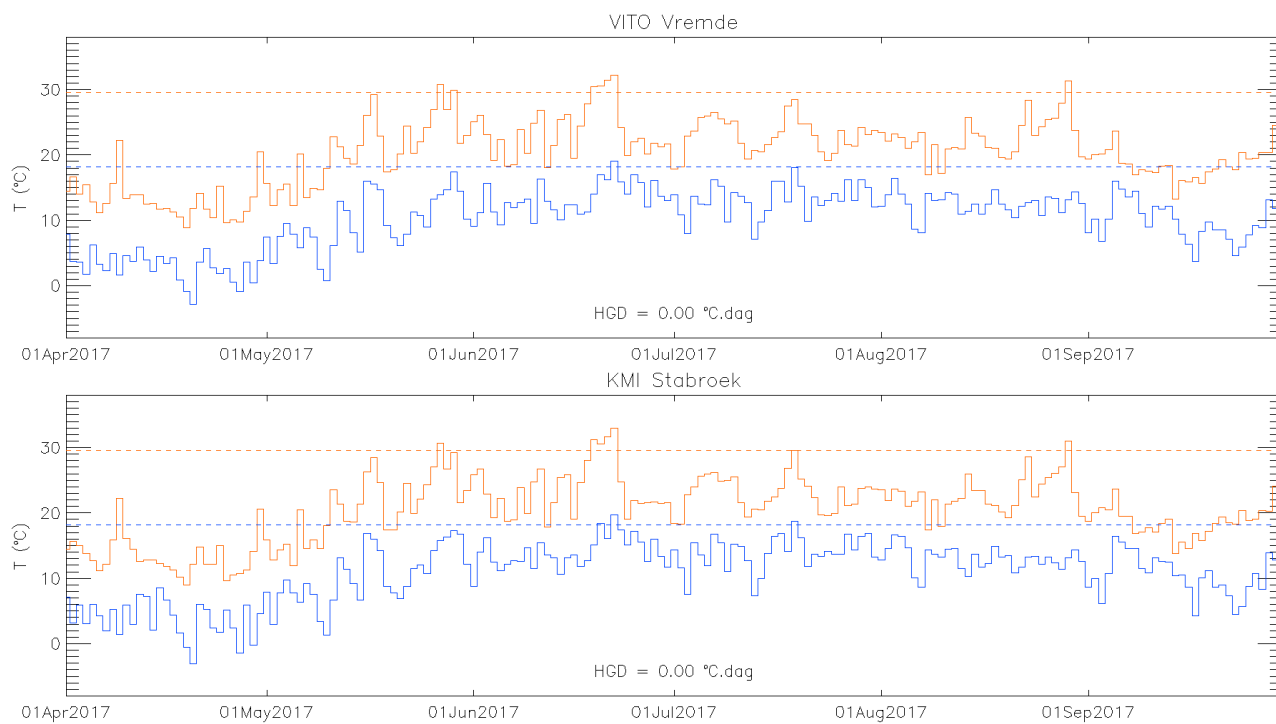
Figuur 8. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2013.



Figuur 9. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2014.

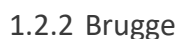


Figuur 10. Zoals in Figuur 7, maar voor het jaar 2017.



////////////////////////////////////

Figuur 11. Zoals in Figuur 3, maar voor de stations Stabroek/KMI (boven) en St. Katelijne-Waver/KMI (onder), voor het jaar 2013.



Als achtergrond voor Brugge zal gebruik gemaakt worden van metingen van het VMM station in Moerkerke (42N012). De metingen gebeuren daar echter op 3 m in plaats van 2 m boven de grond. Zoals aangetoond in een eerder MIRA rapport (De Ridder et al., 2015a) geeft deze afwijkende meethoogte ook licht afwijkende meetwaarden tijdens nachten met open hemel en weinig wind; dit zijn precies de condities die zich voordoen tijdens hittegolven, waarbij het hitte-eilandeffect ook sterk ontwikkeld is.

- de KMI stations in Zeebrugge komen niet in aanmerking want vlak bij de zee en/of in het havengebied gelegen;
- op de KMI site van Jabbeke (weerradar) wordt spijtig genoeg geen temperatuur gemeten (qua locatie was dit anders nagenoeg ideaal geweest);

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

- Figuur 12. VITO/Koenders meetstation aan de Verversdijk (Brugge).



Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

A small, grey, rectangular structure, possibly a guard post or observation tower, stands in a grassy field. It has a metal railing on top and is surrounded by a chain-link fence. The background is filled with tall trees, some with autumn-colored leaves. A paved road is visible on the right side of the image.

1.2.3 Brussel

[illegible]

A photograph of a utility pole with various electrical components. A red circle highlights a specific component on the pole, which appears to be a white, cylindrical device with a flared top, possibly a weather vane or a specialized sensor. The pole is surrounded by green foliage and a building is visible in the background.

[illegible]

Figuur 15. Temperatuur op 3 m hoogte in Molenbeek, zoals gemeten door Leefmilieu Brussel (rood) en VITO (blauw).

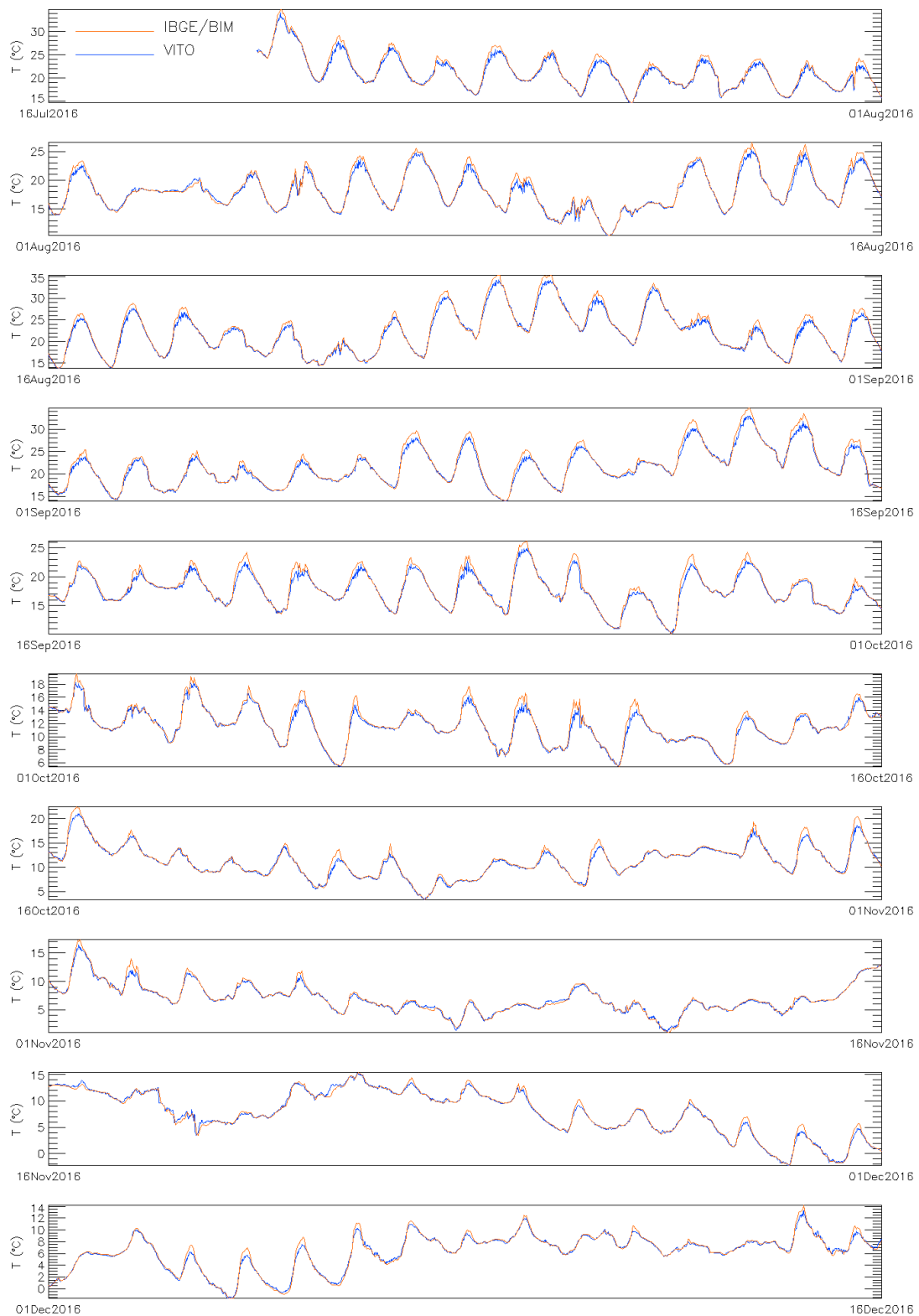


Figure 10 consists of two vertically stacked line graphs. Both graphs plot temperature T in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$) on the y-axis (ranging from 0 to 35) against time on the x-axis (from 01Apr2016 to 01Sep2016). The top graph is titled "IBGE-BIM Molenbeek" and shows a blue line for actual temperature and an orange line for a model prediction. The orange line is generally higher than the blue line, especially during the summer months. A horizontal dashed blue line is at $T = 18^{\circ}\text{C}$ and a horizontal dashed orange line is at $T = 30^{\circ}\text{C}$. The bottom graph is titled "VITO Molenbeek" and shows a similar blue line for actual temperature and an orange line for a model prediction. The orange line is also generally higher than the blue line, but the overall values are lower than in the top graph. A horizontal dashed blue line is at $T = 18^{\circ}\text{C}$ and a horizontal dashed orange line is at $T = 30^{\circ}\text{C}$. The HGD values are 51.70 $^{\circ}\text{C.dag}$ for the top graph and 39.84 $^{\circ}\text{C.dag}$ for the bottom graph.

De metingen in Molenbeek gebeuren op 3 m hoogte in plaats van de gebruikelijke 1.5-2 m. In Antwerpen en Hasselt ligt het meetniveau eveneens een stuk hoger dan 2 m. Zoals hierboven uitgelegd is een afwijkende meethoogte in een ruraal station als Moerkerke potentieel problematisch omdat verticale temperatuurgradiënten in ruraal terrein erg sterk kunnen worden bij nachtelijk afkoeling, met name bij een open, heldere hemel. Dit speelt echter niet op stedelijke locaties. Uit verscheidene studies blijkt namelijk dat de lucht in de 'urban canopy' doorgaans goed gemengd is, zodat verticale temperatuurgradiënten er verwaarloosbaar klein zijn. Nakamura en Oke (1988) en Rotach et al. (2005) vonden in hun metingen slechts erg kleine verticale temperatuurgradiënten, althans zolang de metingen niet te dicht bij een muur of ander lateraal obstakel gebeurden. Bij een numeriek experiment vonden Solazzo en Britter (2007) eveneens dat de luchttemperatuur in een street canyon uniform is, behalve in een dunne grenslaag bij muuroppervlakken. Stedelijke klimaatmodellen (Erell en Williamson, 2006; De Ridder et al., 2015b) veronderstellen ook vaak dat er in een street canyon weinig verticale variatie zit op de temperatuur. Tot slot citeren we Oke (2006) uit een

31

WMO rapport: "Measurements at heights of 3 or 5 m are little different from those at the standard height, have slightly greater source areas and place the sensor beyond the easy reach of damage or the path of vehicles."

Als achtergrondstation voor Brussel hadden we gerekend op VMM metingen in het station St.-Pieters-Leeuw (zie De Ridder et al., 2015a; met name het verslag over de bespreking met VMM Antwerpen daarin), maar uiteindelijk bleken er geen temperatuurmetingen te gebeuren in dit station. De zoektocht naar alternatieven leidde initieel naar het KMI station in St.-Katelijne-Waver, maar dat ligt ver van Brussel en is ook niet representatief voor rurale condities wegens de nabije bebouwing (zie eerdere opmerking daarover bij de beschrijving van de stations in/rond Antwerpen).

Vervolgens kwamen we uit bij de meetstations in de buurt van de luchthaven van Zaventem. Belgocontrol voert metingen uit in Steenokkerzeel; hoewel redelijk dicht bij Brussel, toch een geschikte locatie waarschijnlijk, in alle geval bevindt er zich geen bebouwing in de onmiddellijke omgeving van het Belgocontrol station. Het VMM station in Steenokkerzeel komt niet in aanmerking: enerzijds te dicht bij bebouwing (in een residentiële wijk), en anderzijds vertonen de metingen daar heel erg afwijkende waarden (tot 5-6 °C hoger dan in het Belgocontrol station). Het nadeel van het Belgocontrol station in Steenokkerzeel is dan weer dat de temperatuurmetinge er gebeurt in een passief geventileerde behuizing. Zoals in De Ridder et al. (2015a) uitgelegd kan dit met name overdag afwijkende temperatuurwaarden geven.

Een alternatief ruraal achtergrondstation voor Brussel is het VMM (Afdeling Water) station in Liedekerke. De temperatuur wordt er gemeten in een actief geventileerde behuizing op 1.75 m boven de grond. Hoewel de directe omgeving bestaat uit natuurlijke vegetatie, bevinden er zich op korte afstand bebouwde gebieden, wat een nadeel is. Daarom stellen we voor om dit station niet te weerhouden.

Figuur 17. Meetopstelling in Liedekerke.



1.2.4 Gent

Voor Gent wordt dankbaar gebruik gemaakt van de recent (begin juli 2016) door de vakgroep Fysica en Sterrenkunde van de UGent geïnstalleerde klimaatstations (www.mocca.ugent.be). Deze stations komen qua opzet sterk overeen met die gebruikt in de VITO, VITO/Koenders, en KMI stations, o.a. ook omdat KMI en VITO nauw betrokken waren bij het voorbereidende werk dat leidde tot de aanschaf en installatie van deze stations.

Figuur 18. UGent meetstation aan het provinciehuis in Gent.



Figuur 19. UGent station in de Plantentuin (Gent).



Van de zes stations die UGent in het Gentse heeft uitgezet, wordt er hier gebruik gemaakt van de stations aan het Provinciehuis in centraal Gent (Figuur 18), in de Plantentuin (Figuur 19), en in het nabije rurale Melle

[illegible]

(aan de Proefhoeve). Metingen in het station Plantentuin worden aanzien als relevant in de context van het inschatten van de impact van stedelijk groen op het lokale hitteklimaat, en zijn daardoor bijzonder waardevol (en redelijk uniek).

1.2.5 Hasselt

Hier ook werd een bijkomend nieuw meetstation geïnstalleerd, bovenop een laag dak van de stedelijke Technische Dienst (Dorpsstraat) nabij het centrum van Hasselt (Figuur 20). Op het eerste zicht zou de zwarte roofing op het dak als problematisch kunnen aanzien worden, vanwege de potentieel erg hoge temperaturen van zulke materiaal wanneer blootgesteld aan sterke zonnestraling. Echter, ervaring van het eerste stedelijke VITO station aan het Koninklijk Lyceum Antwerpen (KLA, 2012-2013) heeft getoond dat zulke een opstelling weinig invloed heeft op de temperaturen, zoals bleek uit een vergelijkende studie tussen metingen van de KLA meetpost en een meetopzet op een totaal andere locatie (VMM meetsite aan de Plantin en Moretuslei), die nagenoeg hetzelfde temperatuurverloop te zien gaven. Verder is het zo dat een vuistregel uit de micrometeorologie (zie Garratt, 1992) rond het concept van ‘fetch’ zegt dat een meetsensor op een gegeven meethoogte in evenwicht is met het opwindse terrein over een horizontale afstand van de meethoogte vermenigvuldigd met een factor 100. Dus, om een temperatuurmeting die gebeurt op een hoogte van 2 m te beïnvloeden zou het roofing dak zich over een afstand van 200 m moeten uitstrekken in wind-opwaartse richting. Het is wel zo dat in een omgeving met een hoge ruwheid, zoals steden, deze fetch korter is, maar zelfs dan is de wind-opwaartse afstand van het roofing dak ruim onvoldoende om een sterke invloed op de temperatuurmeting te hebben.

Figuur 20. VITO/Koenders station bij de Technische Dienst (Hasselt).



1.2.6 Lier

[illegible]

Tabel 1. Lijst van de inzetbare stedelijke en rurale metingen voor de zes steden. De *schuingedrukte* tekst verwijst naar stations die als valabel alternatief kunnen dienen.

In bijlage 1 en bijlage 2 wordt een meer gedetailleerd overzicht geboden van de stations, hun eigenschappen, en geografische coördinaten.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de karakteristieken van de ruwe temperatuurgegevens, en van de – in sommige gevallen – initiële verwerking van de data door de operatoren van deze stations. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van de verdere verwerking van de data tot dagwaarden (dagelijkse maximum- en minimumtemperatuur, genoteerd als respectievelijk T_{min} en T_{max}), en de verwerking van deze laatste tot indicatorwaarden voor elk van de stations. Tijdsreeksen met dagelijkse T_{min}/T_{max} en indicatorwaarden worden getoond voor de zes steden voor het jaar 2016, in sommige gevallen onvolledig wegens de late installatie van een aantal meetstations.

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

1.3.1 De ruwe data

De in-situ indicator wordt berekend voor zes steden (Antwerpen, Brugge, Brussel, Gent, Hasselt, en Lier). In de Ridder et al. (2015a) werd deze groep steden voorgesteld als een geografisch en qua grootte diverse steekproef. Voor elk van deze steden wordt de indicator berekend voor (1) een stedelijke en (2) een rurale locatie. Een kort overzicht van de meetstations is beschikbaar in Tabel 1. De formaten van de aangeleverde data worden getoond in bijlage 3.

De meeste temperatuurmetingen worden ontvangen zoals ze gearchiveerd worden. Enkel Belgocontrol en KMI voegen nog een stap toe aan hun ruwe data, door vanuit 1-minuuts- resp. 10-minuuts-metingen dagwaarden voor T_{min} en T_{max} te berekenen. De reden is dat de data van deze operatoren een kost hebben die stijgt met het volume van de data. Vermits de hitte-indicator enkel gebruik maakt van dagelijkse T_{min} en T_{max}, werd besloten om enkel deze laatste te bestellen bij deze twee operatoren, om zodoende de kost te drukken.

De tijdsresoluties gebruikt voor de archivering van de ruwe data bij de respectieve bronnen van gegevens worden gegeven in Tabel 2. Deze verschillende tijdsresoluties kunnen een (kleine) invloed kan hebben op de resulterende dagwaarden, omdat bij een hoge tijdsresolutie de extreme waarden beter benaderd worden dan bij een grovere resolutie. Echter, gezien de gevoeligheid van de gebruikte HGD berekeningsmethode aan het al dan niet overschrijden van drempelwaarden, kan dit toch een merkbaar effect geven in bepaalde omstandigheden. In bijlage 4 wordt een analyse gemaakt van de invloed van de tijdsresolutie van de data. Als resultaat van die analyse werd besloten om alle 1-min data uit te middelen tot een 15-min waarde, zie ook hieronder.

Tabel 2. Tijdsresolutie van de ruwe data, en hun formaat, per operator.

bron	tijdsresolutie (min)	formaat
BELGOCONTROL	1	excel bestand per station
LEEFMILIEU BRUSSEL	30	ASCII tekstbestand
KMI	10	excel, stations als opeenvolgende kolommen
VITO/KOENDERS	1	ASCII tekstbestand per meetsite
UGENT	1	ASCII tekstbestand per station per dag
VITO	15	ASCII tekstbestand per station
VMM	30	excel, kolom per station en/of per jaar

Nog een aspect waarmee rekening dient gehouden te worden is gerelateerd aan de definitie van ‘een dag’. Het is namelijk zo dat voor de berekening van de T_{max} en T_{min} waarden voor een gegeven dag, vertrekkend vanuit bv 10-minuuts temperatuurwaarden, men moet beslissen wanneer een dag precies start en eindigt. In De Ridder et al. (2015a) werden de start en het einde van een dag vastgelegd op 00:00 en 24:00 lokale tijd, wat voor de periode april-september (zomeruur) overeenkomt met UTC+2. De meeste beheerders van meteorologische stations (KMI, Belgocontrol) definiëren daarentegen een dag tussen 00:00 UTC en 24:00 UTC, wat twee uur afwijkt. Vermits de berekening van T_{max}/T_{min} door deze organisaties zelf gebeurt (t.t.z., om kosten te sparen bestellen we bij hen de dagelijkse T_{min}/T_{max} waarden eerder dan de minuuts- of 10-minuutswaarden), hangen we vast aan deze alternatieve definitie van start- en eindpunten van een dag. Echter, gezien het feit dat in de praktijk de temperatuursextrema zich voordoen op momenten van de dag die niet beïnvloed worden door dit verschil in tijd, is de impact erg beperkt.

[illegible]

Indien echter ooit gebruik gemaakt zou worden van data van de *klimatologische* stations van het KMI (in tegenstelling tot de data afkomstig van de *synoptische* stations die momenteel gebruikt worden voor de berekening van de indicator), dan dient men er wel rekening mee te houden dat daar de registratie van Tmax/Tmin gebeurt om 08:00 lokale tijd voor de voorbije 24-uursperiode. Hierdoor kunnen bepaalde temperatuursextrema (met name de minima) zich binnen een andere 'dag' voordoen.

In de volgende sectie wordt beschreven hoe de ruwe temperatuurdata ingelezen en verwerkt worden in een IDL ('Interactive Data Language') computerprogramma. Indien de data in een formaat aangeleverd worden waar IDL niet mee overweg kan, zoals excel, dan worden de gegevens uit de databestanden eerst weggeschreven als een ASCII tekstbestand (*Save as 'Text (Tab delimited) (*.txt)'*).

1.3.2 Rekening houden met de meetfrequentie van de data

De data worden dus om te beginnen ingelezen in een IDL programma. Deze stap vraagt veel aandacht, omdat de dataformaten telkens verschillend zijn naargelang de operator, en zelfs bij een gegeven operator zijn er vaak verschillen in formaat tussen de aangeleverde bestanden. Het inlezen van de bestanden dient elk jaar opnieuw geverifieerd; in vele gevallen is de code die het jaar voordien geldig was niet meer bruikbaar voor het inlezen van jaarlijks nieuw aangeleverde data. De tijdsinformatie die vervat zit in de databestanden (vaak in de meest linkse kolom(men)) wordt omgezet naar een dagnummer, waarbij – voor een gegeven jaar – dag 1 overeenkomt met 1 april om 00:00, en dag 183 met 30 september om 00:00. Ontbrekende data krijgen een waarde ‘-999.’ toegewezen.

In een volgende stap wordt er rekening gehouden met de meetfrequentie, die verschilt al naargelang de bron van de data, variërend tussen 1 en 60 minuten. Gebaseerd op een analyse van de impact van de meetfrequentie op de resulterende Tmin/Tmax waarden (bijlage 4) worden alle data gebruikt zoals aangeleverd, behalve dat de 1-min temperatuursgegevens (UGent, Koenders/VITO, Belgocontrol) eerst een uitmiddeling ondergaan met een 15-min tijdsvenster alvorens er de Tmin/Tmax tijdsreeksen uit te berekenen.

Wat betreft de Belgocontrol data ligt de situatie moeilijker omdat de verwerking van de 1-min data tot tijdsreeksen van Tmin/Tmax bij Belgocontrol zelf gebeurt (dit om – zoals eerder aangehaald – de datakost te drukken, t.t.z., op deze manier zijn de volumes van de geleverde data veel lager, en dus goedkoper). Voor 2016 waren er Tmin/Tmax data besteld bij Belgocontrol die berekend zijn op basis van 1-min temperatuurwaarden. Gelukkig is er voor dat jaar geen probleem: de HGD indicator vertoont een waarde van 0 °C.d, en de temperatuurminima zaten te ver onder de 18.2 °C drempel om bij een eventuele verhoging van Tmin (als resultaat van de uitmiddeling) alsnog gedurende drie dagen boven de drempel uit te komen. Voor 2017 konden enkel data gekocht worden die Tmin/Tmax berekenen op basis van minuutswaarden op het uur. Uit de analyse van bijlage 4 blijkt echter dat resulterende HGD indicatorwaarden relatief dicht bij de HGD liggen berekend op basis van 15-minuutsgemiddelden.

Omdat de data van KMI en van Belgcontrol bij de respectievelijke leveranciers verwerkt worden om de dagelijkse Tmin/Tmax te leveren, en omdat de middelingstijden bij deze twee leveranciers verschillend zijn, is er geen enkele manier om alle datasets volledig coherent te maken met betrekking tot meetfrequentie door ze verder uit te middelen. Echter, zoals in Bijlage 4 aangetoond, zijn de verschillen in Tmin/Tmax, en de resulterende verschillen in de jaarlijkse HGD indicatorwaarde eerder klein, behalve bij gebruik van data met een 1-min meetfrequentie (UGent, Koenders stations). Het uitmiddelen van deze 1-minuutsdata naar 15 minuutswaarden lijkt daarom voldoende om een redelijke consistente dataset op te stellen, waarbij er minimale verschillen overblijven door de verschillende meetfrequenties.

[illegible]

Indien deze 'Tmax + 2 °C' tijdsreeks, gedurende de periode met ontbrekende stedelijke data, niet boven de drempelwaarden voor een hittegolf uitkomt, kan men met een redelijk gerust hart besluiten dat de desbetreffende periode geen invloed kan hebben op de indicatorwaarde voor dat jaar. Indien daarentegen deze verhoogde tijdsreeks wél boven de drempelwaarden uitkomt, dient men te besluiten dat er voor het betreffende jaar geen berekening van de indicator mogelijk is voor de stedelijke locatie.

1.3.4 Berekening dagelijkse T_{min} en T_{max} waarden

1.3.5 Berekening van HGD indicatorwaarden

Het algoritme gebruikt voor de berekening van de indicatorwaarden gaat na, voor elke dag van de periode 1 april - 30 september van het beschouwde jaar, of die dag deel uitmaakt van een periode van drie opeenvolgende dagen waarvan de gemiddelde waarden van de minimum en maximum temperaturen de

41

1. Vervolgens wordt bepaald welke dagen deel uitmaken van een hittegolf, waarbij we ons dus baseren op de definitie van de FOD Volksgezondheid (Brits et al., 2010). Het resultaat is een vector h_i met 183 elementen (één voor elke dag in de periode 1 april tot 30 september), en met $h_i = 1$ dag indien dag i deel uitmaakt van een hittegolf, en $h_i = 0$ dagen in het andere geval. De grootte h_i heeft dus een dimensie van tijd, met eenheid van een dag.
2. In een volgende stap worden voor alle hittegolfdagen de positieve overschrijdingen van de minimum en maximum temperaturen boven de drempelwaarden van respectievelijk 18.2 °C en 29.6 °C opgeteld in de 'hitegolfgraaddagen':

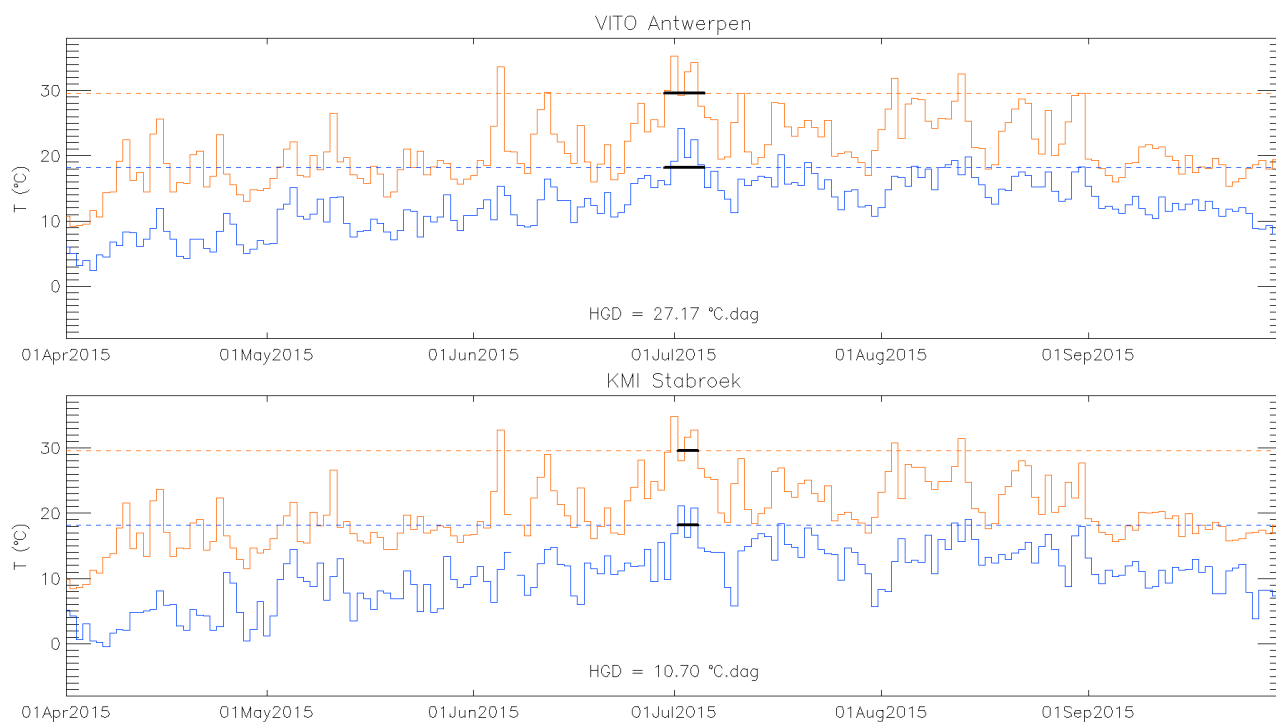
waarbij de som loopt over alle dagen i van de periode 1 april tot 30 september van het beschouwde jaar. De '+' symbolen die als superscript gebruikt worden wijzen erop dat enkel positieve argumenten (van hetgeen tussen ronde haakjes staat) in rekening worden gebracht; negatieve argumenten dragen niet bij tot de som. De resulterende getalwaarde voor HGD is een maat voor de totale duur van hittegolven in een gegeven zomerperiode, maar ook van hun gewicht, d.w.z. de mate waarin temperaturen tijdens hittegolven meer of minder boven de drempelwaarden uitstijgen. Noteer dat de eenheid van HGD gegeven wordt door '°C.dag'.

De berekening van de hittegolfgraaddagen volgens bovenstaande formule gebeurt afzonderlijk voor elk stedelijk en landelijk meetstation. Het resultaat bestaat, per station, uit één getalwaarde per jaar. Deze getallen worden per stad samen in een grafiek uitgezet, zodat het stedelijk effect duidelijk tot uiting komt. We willen hierbij wel opmerken dat de grootste verschillen in de lucht temperaturen tussen stad en platteland (het stedelijk hitte-eiland effect) zich voordoen rond middernacht, dus niet op het moment dat de maxima of minima worden opgetekend. Deze indicator is dus niet geschikt om het maximale stedelijke hitte-eiland effect in kaart te brengen, maar geeft wel een goed beeld van de verschillen in hittestress tussen stad en platteland. De eenheid voor de hitte-indicator is 'graaddagen', ofwel "°C.dag". Dit is consistent met de gangbare praktijk, zie De Ridder et al. (2015a) voor meer details.

In de vorige hitte-indicatorstudie (De Ridder et al., 2015a) werden voor Antwerpen reeds indicatoren berekend voor de jaren 2012-2013-2014, gebaseerd op metingen afkomstig van de VITO klimaatstations aan het Koninklijk Lyceum Antwerpen (KLA) & de VMM meetpost aan de Plantin en Moretuslei, met als ruraal achtergrondstation de VITO meetpost aan de bio-boerderij Van Leemputten in Vremde. In de huidige studie werd de indicator berekend voor de jaren 2015-2016-2017, weliswaar met als ruraal referentiestation Stabroek (KMI) eerder dan het VITO station in Vremde, omdat deze laatste problemen van uitval had in 2015, tot en met de hittegolf van juli 2016. In Figuur 26, Figuur 27 en Figuur 28 worden tijdsreeksen getoond van dagelijkse Tmin/Tmax waarden voor Antwerpen en Vremde, voor 2015, 2016, en 2017, samen met de resulterende indicatorwaarden. In 2015 was er één hittegolf in Antwerpen, in zowel het stedelijke als het rurale station (Figuur 26). Uit Figuur 27 blijkt dat er zich drie warme periodes voordeden in 2016, rond half juli, eind augustus, en half september. In het Antwerpse kwamen de drie periodes eruit als hittegolf in de

stedelijke stations, maar (net) niet in de rurale. In 2017 was er één enkele hittegolf, enkel waargenomen in het stedelijke station.

Figuur 26. Dagelijkse Tmin (blauw) en Tmax (rood) waarden, voor Antwerpen/Borgerhout (boven) en Stabroek (onder), voor 2015. De stippellijn toont de drempeltemperaturen van 18.2 °C en 29.6 °C die gebruikt worden in de definitie van hittegolf volgens de FOD Volksgezondheid, en die als basis dient voor de berekening van de hitte-indicator. Onderaan in het midden van elke grafiek wordt de berekende indicatorwaarde (HGD) getoond.



VITO Antwerpen

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 38.18 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2016 01May2016 01Jun2016 01Jul2016 01Aug2016 01Sep2016

KMI Stabroek

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 0.00 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2016 01May2016 01Jun2016 01Jul2016 01Aug2016 01Sep2016

VITO Antwerpen

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 19.26 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2017 01May2017 01Jun2017 01Jul2017 01Aug2017 01Sep2017

KMI Stabroek

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 0.00 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2017 01May2017 01Jun2017 01Jul2017 01Aug2017 01Sep2017

In Brugge was bij de start van dit project geen klimaatmeetstation in de stedelijke binnenstad beschikbaar. Daarom werd een nieuw station geïnstalleerd in de zomer van 2016. Spijtig genoeg kon de installatie pas plaatsvinden in de tweede helft van augustus 2016, tijdens de tweede hittegolf van dat jaar (na die van half juli). De tijdsreeksen met dagelijkse T_{min} en T_{max} waarden worden getoond in Figuur 29. Voor het stedelijk station in Brugge kan er dus geen representatieve hitte-indicator bepaald worden. Voor het VMM station in het nabijgelegen Moerkerke geeft de berekening van de indicator een waarde van 0°C.dag. De grafiek van Moerkerke komt sterk overeen met die van Stabroek (Figuur 29).

Koenders Brugge

T ($^{\circ}\text{C}$)

HGD = 13.99 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2016 01May2016 01Jun2016 01Jul2016 01Aug2016 01Sep2016

VMM Moerkerke

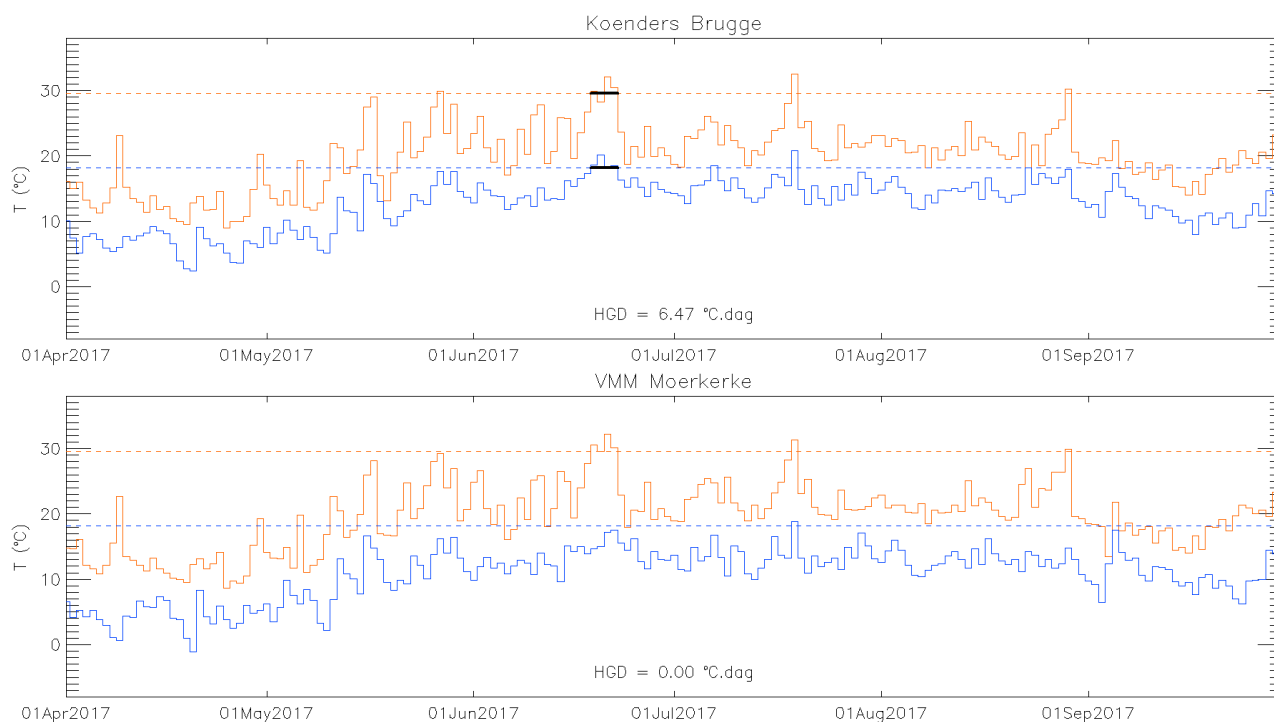
T ($^{\circ}\text{C}$)

HGD = 0.00 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2016 01May2016 01Jun2016 01Jul2016 01Aug2016 01Sep2016

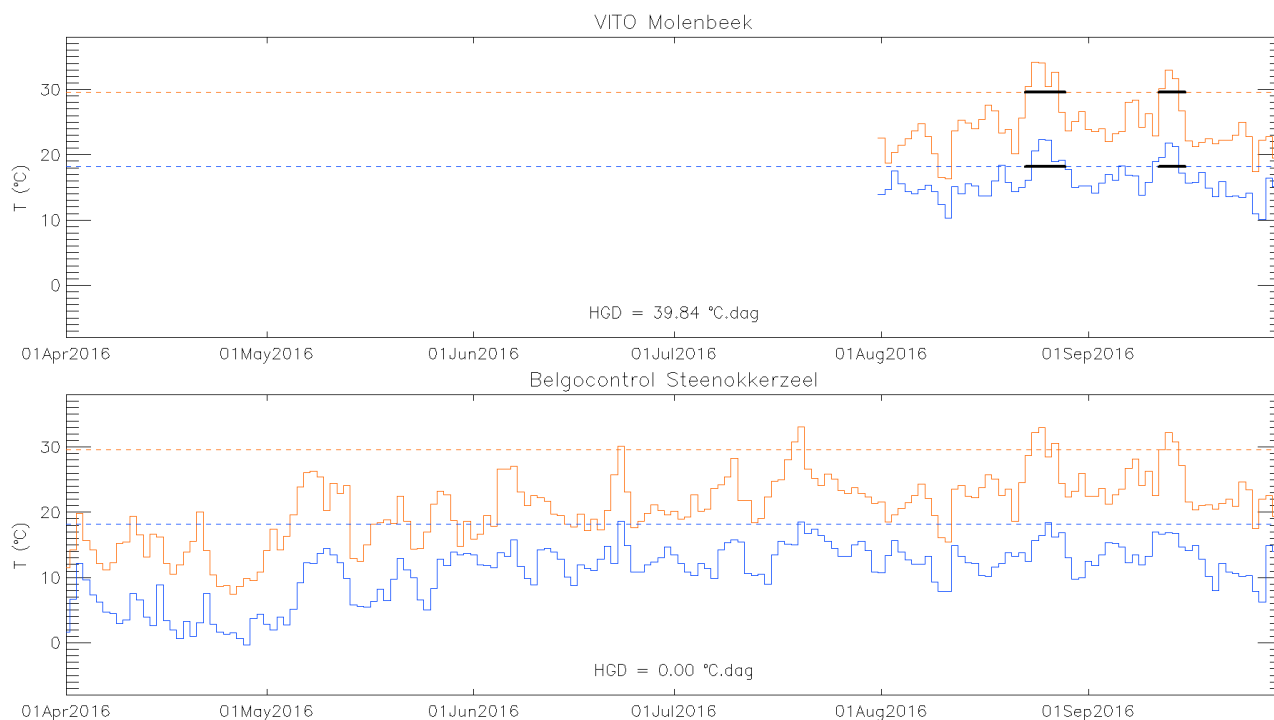
In 2017 werd één (bescheiden) hittegolf waargenomen in het stedelijk station, en geen enkele in het rurale station van Moerkerke (Figuur 30).

Figuur 30. Zoals Figuur 26, maar voor Brugge gedurende het jaar 2017.

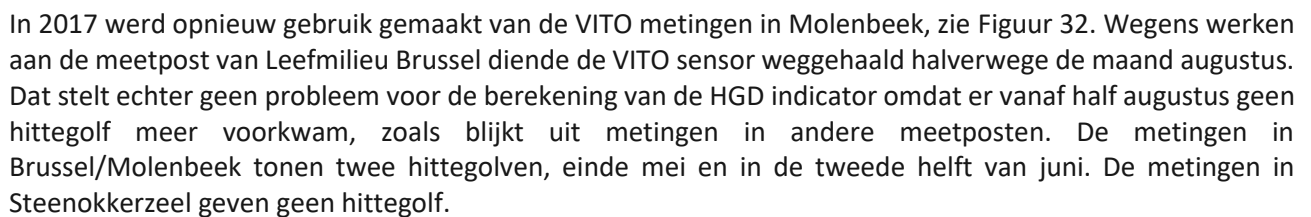


1.4.3 Brussel

Figuur 31. Zoals Figuur 26 maar voor Brussel, in 2016.



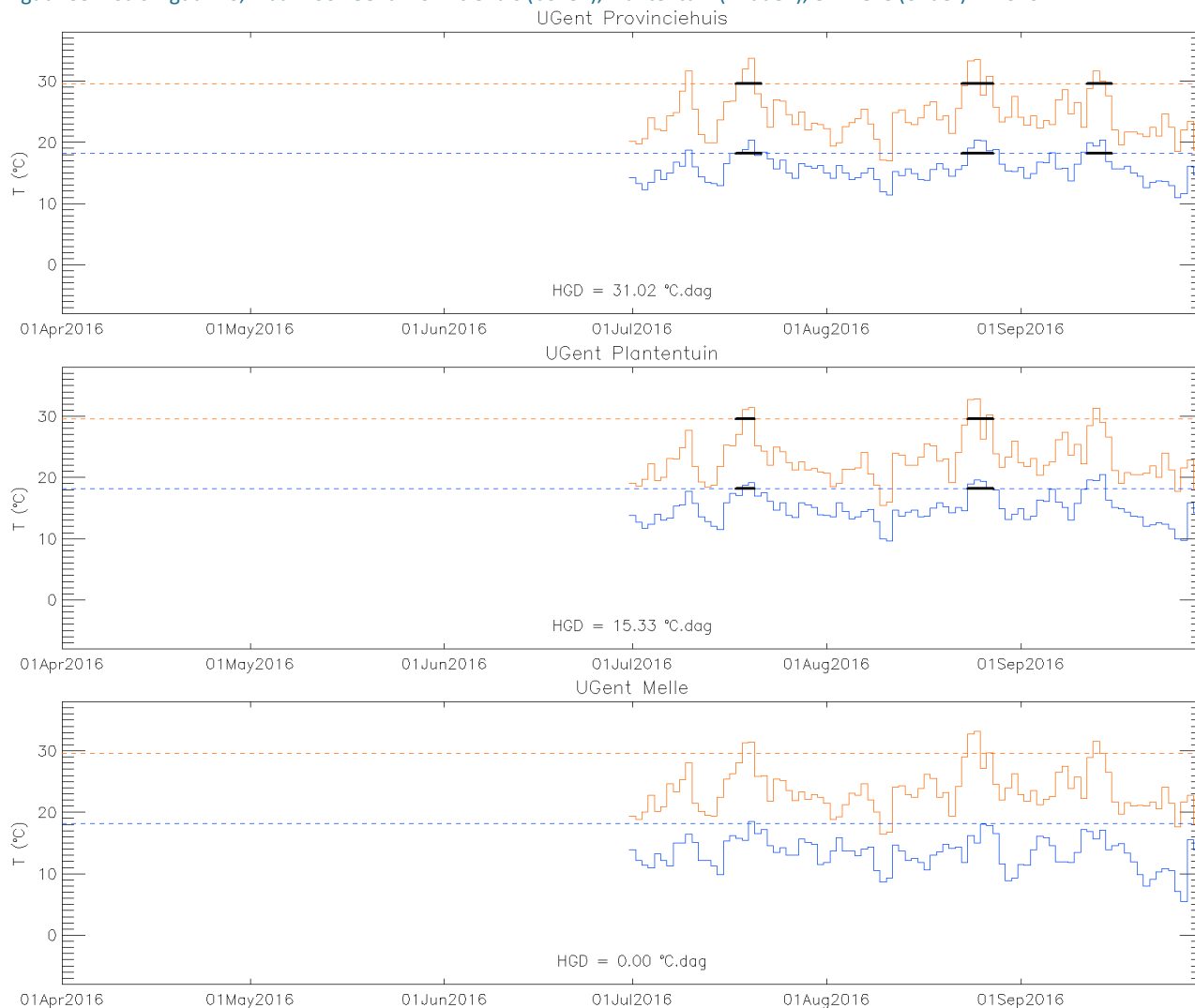
Figuur 32. Zoals Figuur 26 maar voor Brussel, in 2017.



1.4.4 Gent

Voor Gent wordt gebruik gemaakt van de klimaatstations die recent (begin juli 2016) door de Vakgroep Fysica en Sterrenkunde van de UGent werden geïnstalleerd in en rond Gent, met name de stations Provinciehuis (centraal Gent), Plantentuin (parkomgeving nabij Gent centrum), en Melle (ruraal achtergrondstation). (Meer informatie over dit meet netwerk is te vinden op www.mocca.ugent.be).

Figuur 33. Zoals Figuur 26, maar voor Gent Provinciehuis (boven), Plantentuin (midden), en Melle (onder) in 2016.



De data van Gent voor 2016 (Figuur 33) liggen in de lijn van de verwachtingen: de HGD waarde voor het Provinciehuis ligt iets onder die van Antwerpen, en Melle heeft net als Stabroek een waarde van 0°C.dag voor Melle. Interessant is ook dat de metingen van de Plantentuin een duidelijk lager HGD niveau vertonen in vergelijking met het Provinciehuis, hetgeen wijst op de impact van groen. In 2017 was het beeld gelijkaardig, zie Figuur 34, hoewel de HGD waardes zich (overal) lager situeerden.

UGent Provinciehuis

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 16.17 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2017 01May2017 01Jun2017 01Jul2017 01Aug2017 01Sep2017

UGent Plantentuin

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 10.34 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2017 01May2017 01Jun2017 01Jul2017 01Aug2017 01Sep2017

UGent Melle

$T (^{\circ}\text{C})$

HGD = 0.00 $^{\circ}\text{C.dag}$

01Apr2017 01May2017 01Jun2017 01Jul2017 01Aug2017 01Sep2017

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

Net als in Brugge kwam ook de installatie van het stedelijk station in Hasselt te laat om nog een representatieve indicatorwaarde te kunnen opleveren voor 2016. Verder trad er daar al snel (begin september) een probleem op met de actieve ventilatie, zodat daar voor 2016 uiteindelijk slechts heel beperkt geldige data konden verzameld worden (Figuur 35).

Het ruraal achtergrondstation voor Hasselt is het KMI station in Diepenbeek. We hebben ook de VMM temperatuurmetingen in Hasselt bekeken als mogelijke bron van stedelijk data; deze lijken echter minder geschikt omdat het station zich ver van het centrum, aan de rand van Hasselt bevindt.

In 2017 was er wel een volledige meetreeks in Hasselt, zie Figuur 36, waaruit een beperkte hittegolf bleek in het stedelijk station, en het ontbreken van een hittegolf in het rurale station van Diepenbeek. In dit laatste station waren er wel enkele ontbrekende data in september, maar zonder erg omdat we toen niet in de buurt van een hittegolf kwamen.

The figure consists of two vertically stacked line plots. Both plots share the same x-axis, representing time from 01Apr2017 to 01Sep2017, with major ticks every month. The y-axis for both plots represents temperature T in $^{\circ}\text{C}$, ranging from 0 to 30, with major ticks every 10 units. Each plot contains two data series: a blue line representing the daily temperature and an orange line representing the daily temperature. Additionally, each plot has a horizontal dashed blue line at $T = 18.3^{\circ}\text{C}$ and a horizontal dashed orange line at $T = 30^{\circ}\text{C}$. The top plot is titled 'Koenders Hasselt' and shows an HGD of 15.63 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dag}$. The bottom plot is titled 'KMI Diepenbeek' and shows an HGD of 0.00 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dag}$.

Zoals voor Hasselt en Brugge kwam ook hier de installatie van de stations te laat in het seizoen om nog een indicatorwaarde voor 2016 te kunnen opleveren. Als achtergrondstation voor Lier komen Vremde en Stabroek in aanmerking. Stabroek mag dan redelijk veraf liggen, de vergelijking met de metingen van Vremde hebben aangetoond dat beide rurale stations erg vergelijkbare resultaten leveren.

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

1.4.7 Overzicht

Tabel 3. Hittegolfgraaddagen (HGD, in °C.dag) voor Antwerpen en Gent. De jaren 2012-2014 waren voor Antwerpen eerder reeds beschikbaar (De Ridder et al., 2015a), de nieuw berekende waarden voor 2015-2016-2017 staan in het rood aangegeven. De “*” duidt op een HGD waarde berekend met data van het KMI station in Stabroek i.p.v. het VITO station in Vremde.

		2012	2013	2014	2015	2016	2017
Antwerpen	Borgerhout	18.76	35.85	17.93	27.17	38.18	19.26
	Vremde/Stabroek	0.00	0.00	7.63	10.70*	0.00*	0.00*
Brugge	Centrum						6.47
	Moerkerke						0.00
Brussel	Molenbeek						27.32
	Steenokkerzeel						0.00
Gent	Provinciehuis					31.02	16.17
	Plantentuin					15.33	10.34
	Melle					0.00	0.00
Hasselt	Centrum						15.63
	Diepenbeek						0.00
Lier	Centrum						13.76
	Stabroek						0.00

2.1 Inleiding

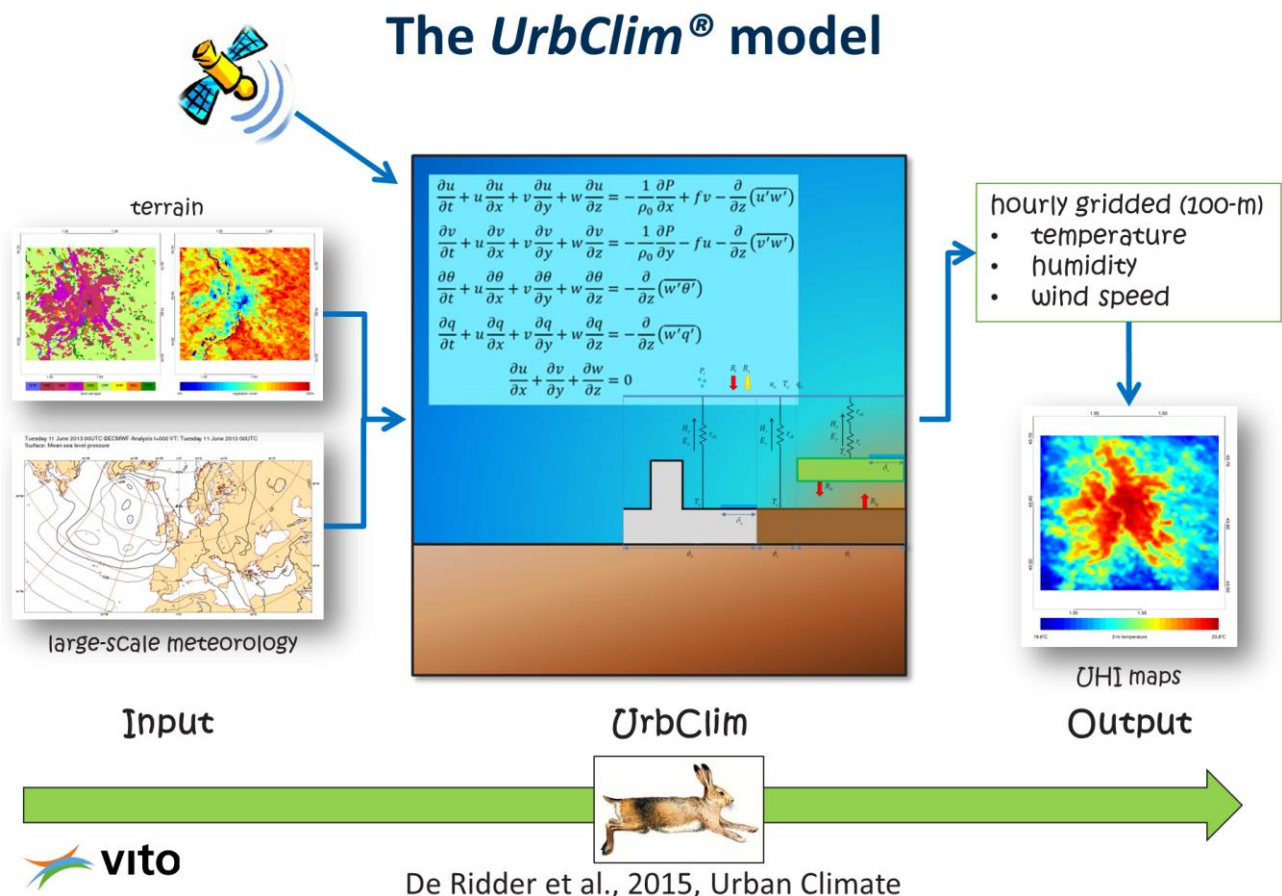
- aantal hittegolfgraaddagen in een (half kalender)jaar
- aantal hittegolfdagen in een (half kalender)jaar (= het aantal dagen waarbij de 3-daagse gemiddelde maximum temperatuur groter of gelijk is aan 29.6 °C en de minimum temperatuur groter of gelijk is aan 18.2 °C)
- intensiteit van de hittegolven (= verhouding tussen het aantal hittegolfgraaddagen en het aantal hittegolfdagen)
- maandgemiddelde temperaturen
- gemiddelde zomertemperatuur (zomer = juni + juli + augustus)
- aantal dagen in een (half kalender)jaar met een daggemiddelde temperatuur ≥ 25 °C
- aantal dagen in een (half kalender)jaar met een maximumtemperatuur ≥ 25 °C
- aantal dagen in een (half kalender)jaar met een maximumtemperatuur ≥ 30 °C
- hittegolven (gedefinieerd door het KMI als periode van 5 opeenvolgende dagen met $T_{max} \geq 25$ °C waarvan minstens 2 dagen met $T_{max} \geq 30$ °C):
 - aantal in een jaar
 - lengte (= het aantal dagen tijdens hittegolven in een jaar)
 - gewicht (= de mate waarin de temperatuur boven de 25 °C uit stijgt)
 - intensiteit (= verhouding tussen het gewicht en de lengte van hittegolfdagen)

In Sectie 2.2 worden de opzet van de modellering en de gebruikte input datasets besproken. In Sectie 2.3 volgen dan de resultaten van een validatie-oefening, waarbij modelresultaten voor een selectie van steden vergeleken worden met meetresultaten uit Perceel 1 van dit project. In Sectie 2.4 wordt een selectie van het geproduceerde kaartmateriaal voor de referentie periode voorgesteld, en de resultaten van de toekomstprognoses worden beschreven en getoond in Sectie 2.5.

2.2 Beschrijving modellering basiskaarten

Om het stedelijk hitte-eiland voor heel Vlaanderen in voldoende detail in kaart te brengen, wordt in deze studie gebruik gemaakt van het door VITO ontwikkelde stedelijke klimaatmodel UrbClim (Figuur 39). Dit model simuleert het lokale klimaat expliciet, om op die manier temperatuurverschillen tussen stedelijke en landelijke omgevingen te kwantificeren. UrbClim brengt hierbij onder meer het verschil tussen locaties nabij de kust en in het binnenland in rekening, wat erg lastig is met bv. een statistische methode. Alle inhoudelijke details van het model zijn terug te vinden in de publicatie van De Ridder et al. (2015b). Het model is intussen al ingezet en gevalideerd voor een tiental steden wereldwijd (De Ridder et al., 2015b; Lauwaet et al., 2015; Lauwaet et al., 2016).

Figuur 39: Schematische voorstelling van het UrbClim model.



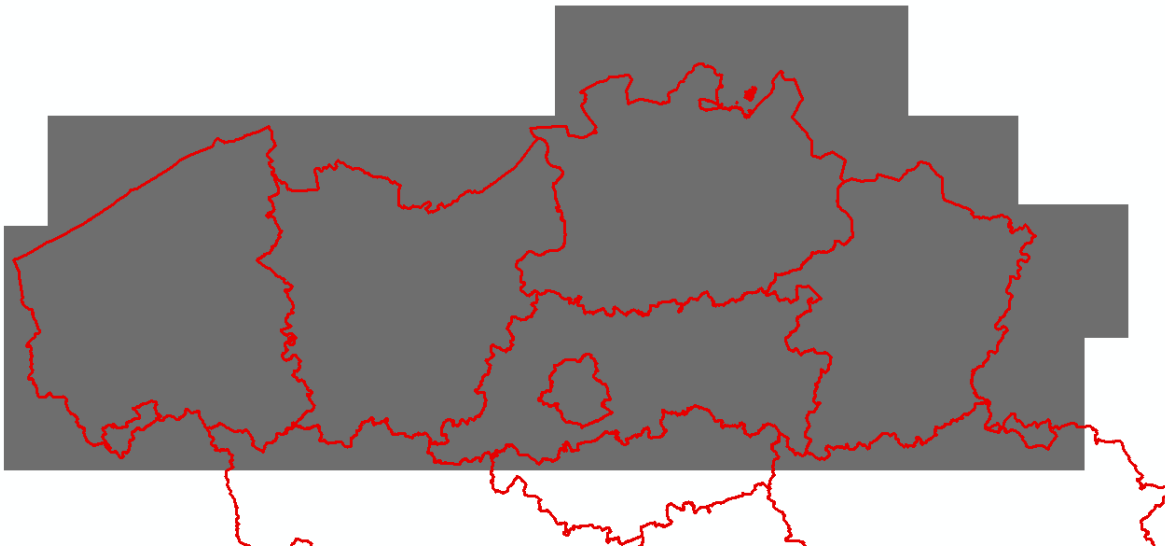
Voor de berekening van het lokale klimaat heeft UrbClim twee type invoer bestanden nodig: tijdreeksen van de grootschalige meteorologie en detailkaarten van het lokale terrein. In dit project maken we gebruik van de meest accurate grootschalige klimaatdata die beschikbaar zijn, met name de ERA-Interim heranalyse van het ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). UrbClim brengt vervolgens de lokale hittestress op 100m resolutie in kaart, gebaseerd op gedetailleerde landgebruik-, vegetatie- en verhardingskaarten. Het landgebruik en de verharding in Vlaanderen worden in rekening gebracht met behulp van de landgebruikskaart 2010 uit het Ruimtemodel Vlaanderen, en de publiek beschikbare

Verharding data van het European Environment Agency (EEA). Voor gridcellen die buiten Vlaanderen vallen wordt gebruik gemaakt van de CORINE 2012 landgebruikskaart. Tien jaar gemiddelde maandelijks vegetatie indices van de MODIS satelliet (verwerkt bij VITO) worden gebruikt om de variatie in vegetatie gedurende de loop van het jaar in rekening te brengen.

een mogelijke alternatieve kaart om het landgebruik in rekening te brengen is het Grootchalig Referentiebestand of Basiskaart Vlaanderen (GRB) van de Vlaamse overheid. Deze bevat echter geen informatie over verschillen in type vegetatie (gras, akker, loofbomen, naaldbomen, e.d.) die het UrbClim model nodig heeft. Een alternatieve kaart voor de verharding is de recente 1m resolutie bodembedekkingskaart van AGIV (data van 2012). Deze ruimtelijke resolutie is een stuk hoger dan nodig (100m) en bovendien ontbreekt Brussel in de kaart. Omdat we in het verleden goede ervaringen hadden in validatieoefeningen voor Antwerpen en Gent met de EEA verhardingskaart hebben we ervoor geopteerd om deze kaart te gebruiken in deze studie. Een slotte is er ook een alternatief voor de MODIS vegetatie data, met name de vegetatie data van de Europese Proba-V satelliet, die een hogere ruimtelijke resolutie heeft. Een nadeel hiervan is dat er nog maar enkele jaren aan data verzameld zijn met deze satelliet, terwijl we voor MODIS beroep kunnen doen op tien jaar gemiddelde kaarten, hetgeen het eindresultaat een stuk robuuster maakt.

Om het mogelijk te maken de modellering uit te voeren voor heel Vlaanderen, dient Vlaanderen te worden opgedeeld in een aantal deelgebieden van ongeveer 30 x 30 km. Deze gebieden zijn zo gekozen dat er (1) steeds voldoende (5 km) overlap is tussen de verschillende gebieden, en zodat (2) de gebiedsgrenzen zo weinig mogelijk door de centrumsteden van Vlaanderen lopen. In totaal zijn er zo 32 deelgebieden nodig om heel Vlaanderen te bedekken (Figuur 40). Voor de validatie-oefening (§ 2.3) werden enkel de modeldomeinen voorgerekend voor de verschillende steden waar er meetstations aanwezig waren.

guur 40: Overzicht van de bedekking van Vlaanderen door de 32 UrbClim modeldomeine



2.3 Validatie basiskaart

In deze sectie worden de resultaten van de validatie van het UrbClim model getoond. Hierbij wordt gefocust op de 2 m luchttemperaturen, de temperatuurverschillen tussen stad en platteland (het zogenaamde stedelijke hitte-eiland effect), en het aantal hittegolfgraaddagen. Tabel 4 geeft een overzicht van de meetstations die hiervoor gebruikt zijn. Voor alle stations was er data beschikbaar voor (een periode van) de zomer van 2016, voor de stations in Antwerpen was er ook data voor een stuk van de zomer van 2013.

Tabel 4: Overzicht van de stations die gebruikt zijn voor de modelvalidatie.

stad	stedelijk station (operator)	ruraal station (operator)
Antwerpen	Lyceum/Borgerhout (VITO)	Vremde (VITO)
Brugge	Verversdijk (VITO/Koenders)	Moerkerke (VMM)
Brussel	Molenbeek (VITO) en Ukkel (KMI)	Steenokkerzeel (Belgocontrol)
Gent	Provinciehuis en Plantentuin (UGent)	Melle (UGent)
Hasselt	Dr. Willemsstraat (VITO/Koenders)	Diepenbeek (KMI)
Lier	CC Vredeberg (VITO/Koenders)	Vremde (VITO)

Om de meetresultaten op een eerlijke manier te kunnen vergelijken met de uurlijkse modeldata, worden de metingen van de verschillende meetstations (die een tijdsresolutie hebben van seconden tot minuten) eerst lineair geïnterpoleerd naar uurlijkse waarden. Concreet wordt er per stad een figuur getoond met het uurlijkse verloop en de validatiestatistieken van de 2 m luchttemperatuur, het uurlijkse verloop en de validatiestatistieken van het stedelijk hitte-eiland effect, de gemiddelde dagcyclus van het stedelijk hitte-eiland, een scatterplot van de dagelijkse minimum- en maximumtemperaturen en het resulterende aantal hittegolfgaardagen. Voor sommige meetstations zijn enkel de dagelijkse maxima en minima beschikbaar, en kunnen dus enkel de scatterplots gemaakt worden.

De validatiestatistieken die zijn gebruikt:

- 1) De bias, het gemiddelde verschil tussen de metingen en de modelresultaten.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

- 2) De root mean square error (RMSE), de standaard deviatie van de verschillen tussen gemodelleerde en geobserveerde waarden.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$$

- 3) De correlatie coëfficiënt (CORR), de proportie van de variatie in de geobserveerde waarden die verklaard wordt door de modelresultaten.

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

////////////////////

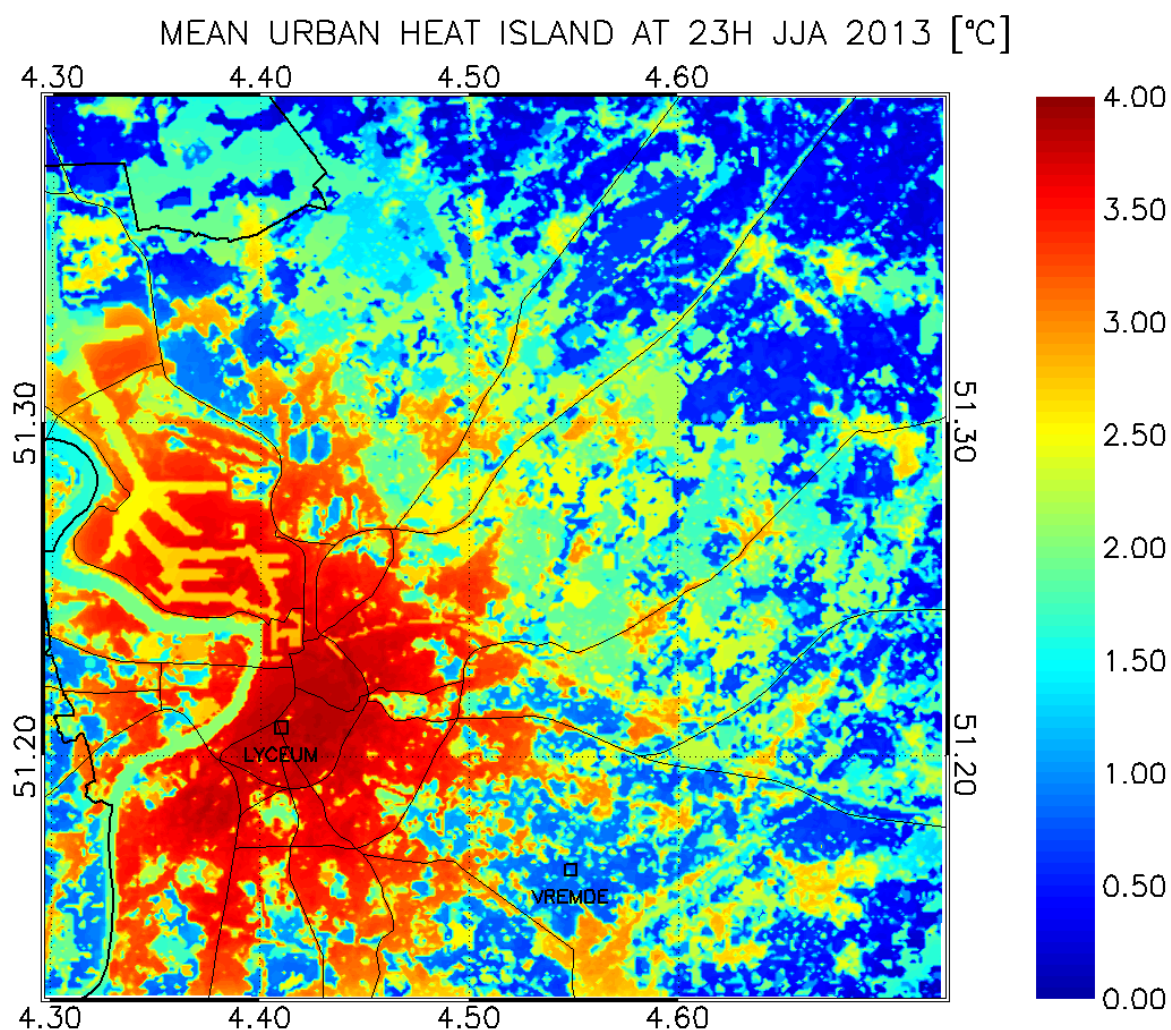
2.3.1 Antwerpen

Voor de stad Antwerpen zijn er data beschikbaar van de VITO meetstations in het Lyceum en Vremde voor de periode 9 juli-9 september 2013. Daarna is het meetstation van het Lyceum verhuisd naar Borgerhout. Na het onderhoud van het meetstation in Vremde tijdens de zomer van 2016, is er data beschikbaar van 20 juli tot 30 september 2016 voor beide stations.

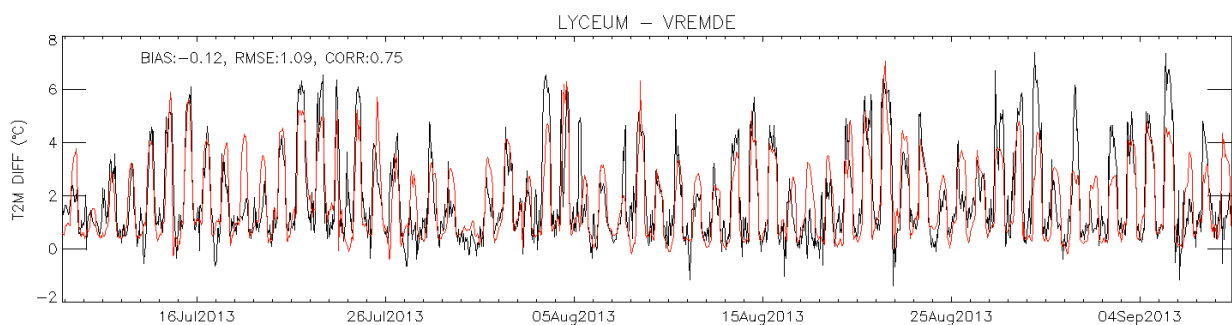
2.3.1.1 2013

Figuur 41 toont de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijk hitte-eiland van Antwerpen tijdens de zomer van 2013 om 23u, het moment dat de temperatuurverschillen tussen stad en platteland maximaal zijn. Zoals aangegeven in § 1.3.5 doen deze maximale temperatuurverschillen zich op een ander moment voor dan de maxima en minima, waaruit de HGD indicator wordt berekend. Tussen het centrum van de stad en de grasvelden en akkers op het platteland bedraagt dit verschil ongeveer 4 °C gemiddeld. Dit is conform de modellering die eerder gebeurde in het kader van het Hittekaartproject in Antwerpen (Lauwaet et al., 2013).

Figuur 41: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Antwerpen om 23u tijdens de zomer van 2013.

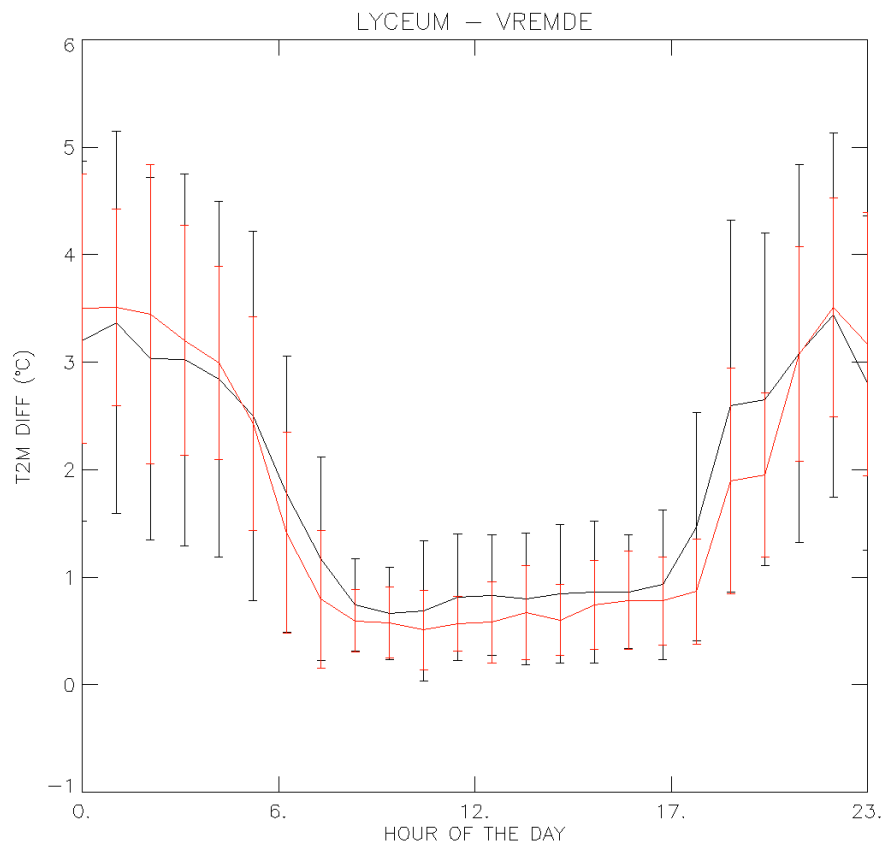


Figuur 42: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.



Vervolgens toont Figuur 44 het daggemiddelde verloop van het stedelijk hitte-eiland, en de standaard afwijking op dit verloop. Ook hier zien we een uitstekende overeenkomst tussen de metingen en de modelresultaten, die op alle uren dicht bij elkaar liggen. We zien wel dat er een wat grotere variatie zit in de meetresultaten, hetgeen ook zichtbaar was in Figuur 43, maar gemiddeld gesproken wordt het stedelijk hitte-eiland effect goed weergegeven door het model.

Figuur 44: Het daggemiddelde profiel van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland. De foutenmarges geven de standaard afwijkingen op het gemiddelde weer.



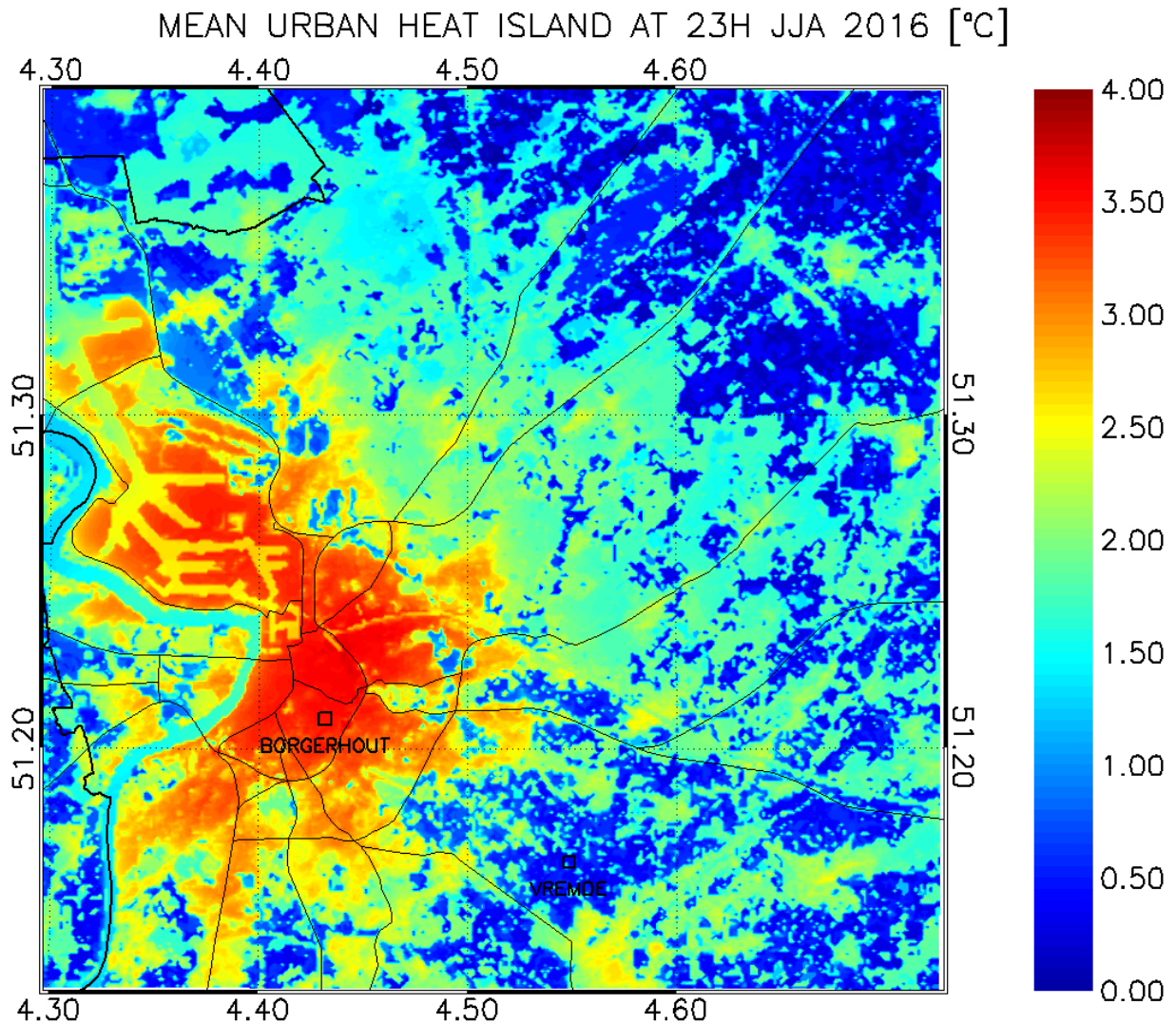
Figuur 45: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgraaddagen.



2.3.1.2 2016

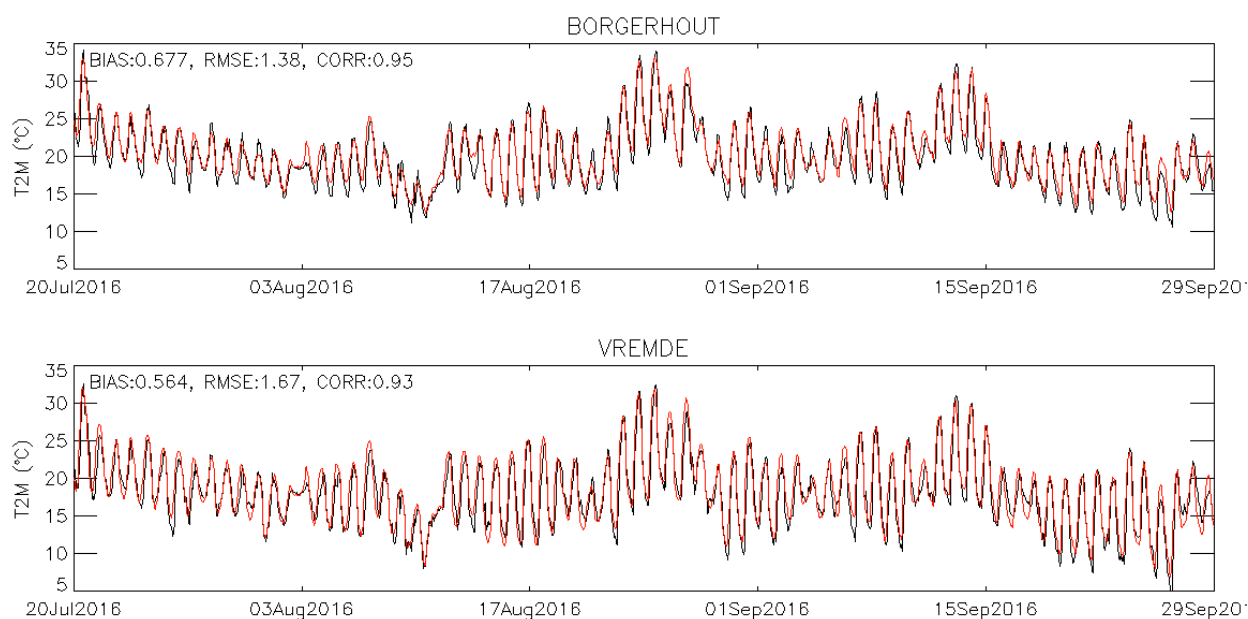
Figuur 47 toont opnieuw de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijk hitte-eiland van Antwerpen, dit keer tijdens de zomer van 2016. Het hitte-eiland is gemiddeld iets kleiner tijdens deze zomer dan tijdens de zomer van 2013, en bedraagt ongeveer 3.5 °C.

Figuur 47: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Antwerpen om 23u tijdens de zomer van 2016.

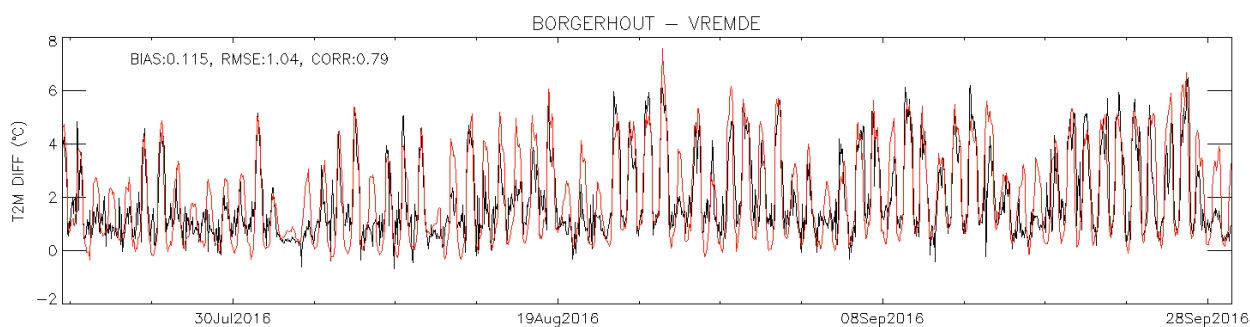


De validatiestatistieken van het uurlijkse verloop van de metingen en de modelresultaten tijdens de validatieperiode zijn opnieuw prima en komen sterk overeen met de waarden van 2013 (Figuur 48). Ook wat betreft het stedelijke hitte-eiland effect (Figuur 49) doet het model het uitstekend, met een bias van ongeveer 0 °C, een RMSE van ongeveer 1 °C en een correlatie van bijna 0.8, allemaal een stuk beter dan de target waarden. We zien dat het model tijdens deze zomer de hoogste pieken van de geobserveerde temperatuurverschillen (rond 6 °C) weet te reproduceren.

Figuur 48: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.

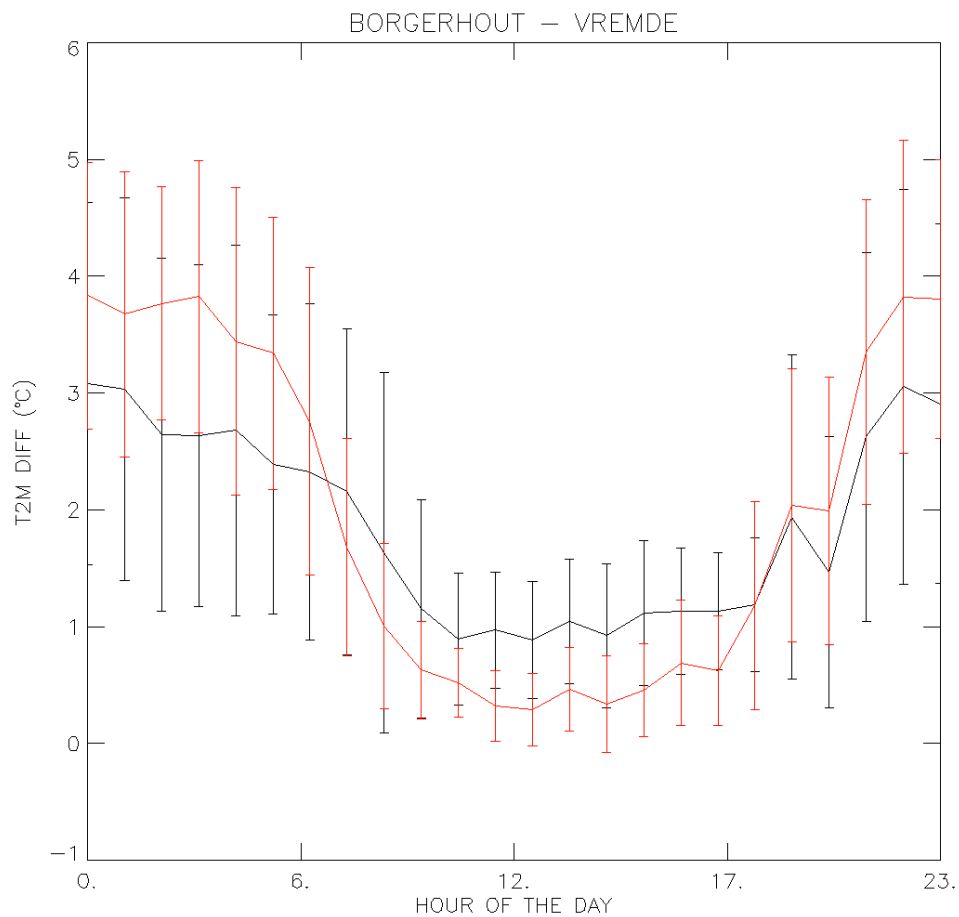


Figuur 49: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland.

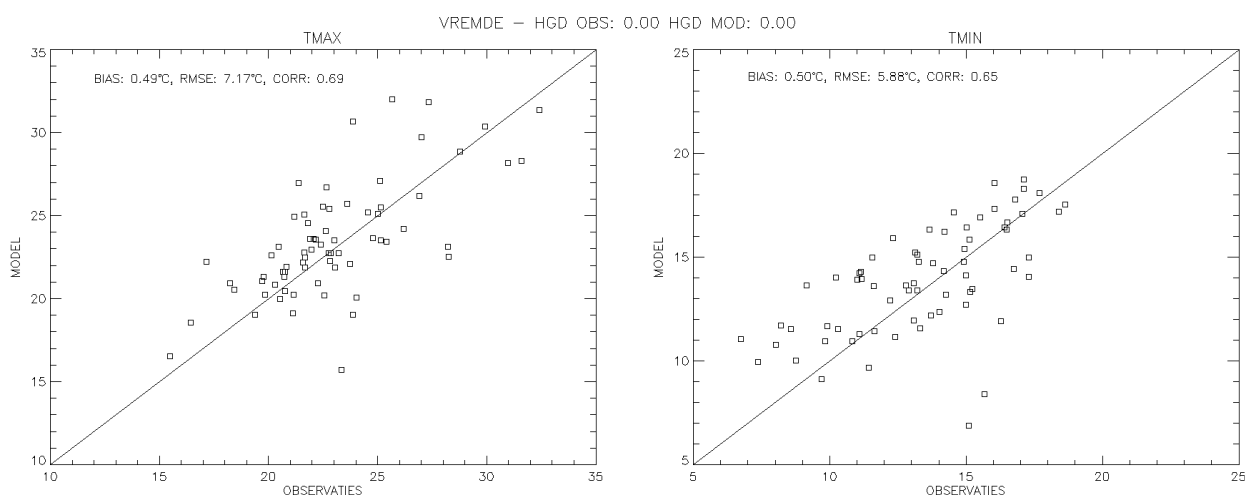


Wat betreft het gemiddelde dagelijkse verloop van het stedelijke hitte-eiland doet het model het iets minder goed dan tijdens de zomer van 2013. Het nachtelijke effect wordt dit keer wat overschat, en het effect tijdens de dag wat onderschat. De uurlijkse modelgemiddelden liggen wel zo goed als altijd binnen de standaard afwijkingen van de metingen, dus al bij al lijkt ons dit toch een aanvaardbaar resultaat.

Figuur 50: Het daggemiddelde profiel van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland. De foutenmarges geven de standaard afwijkingen op het gemiddelde weer.



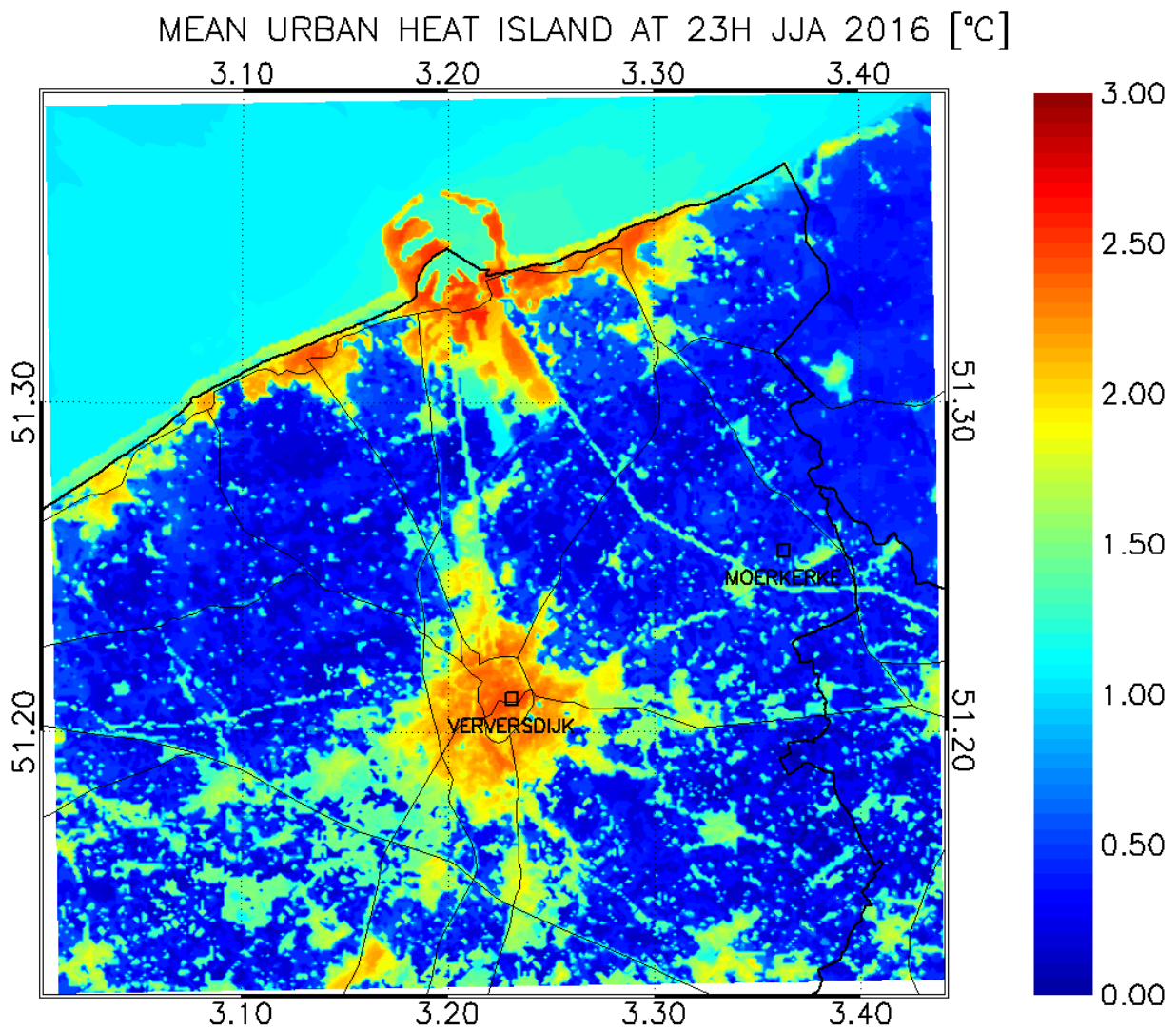
Uur 51: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m-temperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgraaddagen.



2.3.2 Brugge

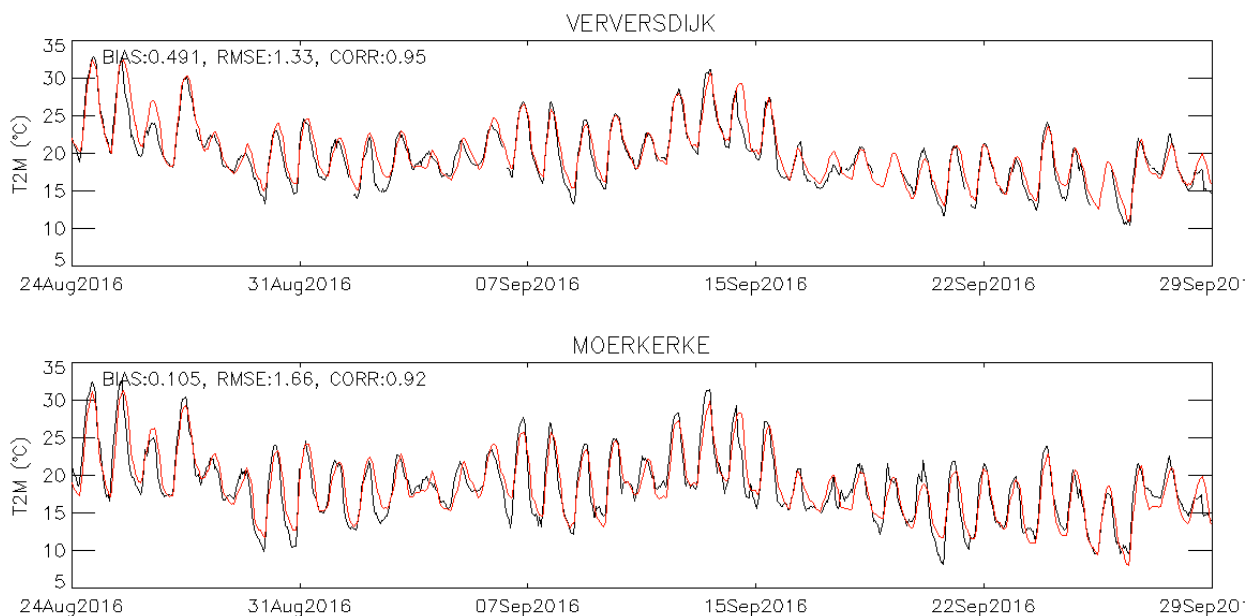
Voor de stad Brugge zijn er data beschikbaar van het meetstation dat er door de firma Koenders is geplaatst op de Verversdijk en het VMM meetstation in Moerkerke, voor de periode 24 augustus-29 september 2016. Figuur 53 toont de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijke hitte-eiland van Brugge en Zeebrugge tijdens de zomer van 2016, dat zo'n 2.5 °C bedraagt.

Figuur 53: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Brugge om 23u tijdens de zomer van 2016.

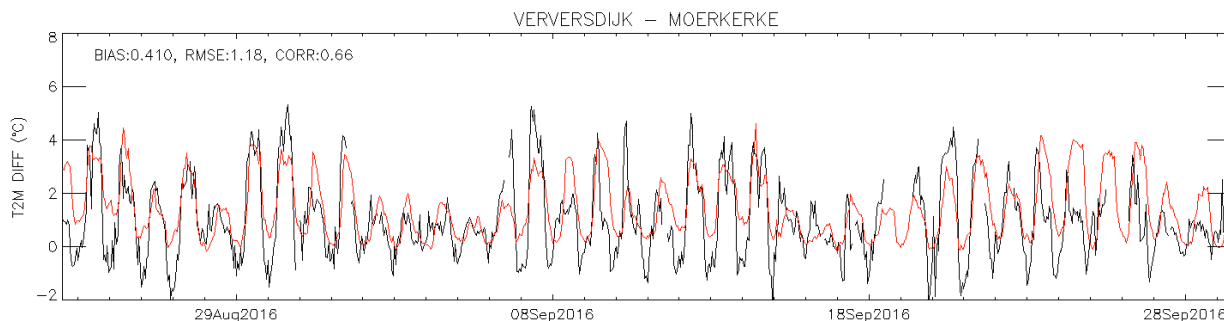


Het uurlijkse verloop van de metingen en de modelresultaten tijdens de validatieperiode laat een goede overeenkomst zien op beide locaties (Figuur 54). De validatiestatistieken zijn prima, met een bias onder 0.5 °C, een root mean square error onder de 2 °C en een correlatie boven 0.9. UrbClim heeft het duidelijk moeilijker om de temperatuurverschillen tussen stad en platteland correct te simuleren (Figuur 55). De nachtelijke pieken in het stedelijk hitte-eiland worden nog vrij goed gereproduceerd, maar overdag laten de metingen een systematisch negatief hitte-eiland zien, dat niet wordt gereproduceerd. Dit is een ongewoon fenomeen (stad warmt trager op dan het platteland) en kan te maken hebben met de specifieke (te beschutte?) locatie van het meetstation in de stad. Het is in ieder geval een fenomeen dat met dit soort model niet valt na te bootsen. De uiteindelijke validatiestatistieken (bias van minder dan 0.5 °C, RMSE van iets meer dan 1 °C en een correlatie van bijna 0.7) halen wel vlot de targetwaarden.

Figuur 54: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.

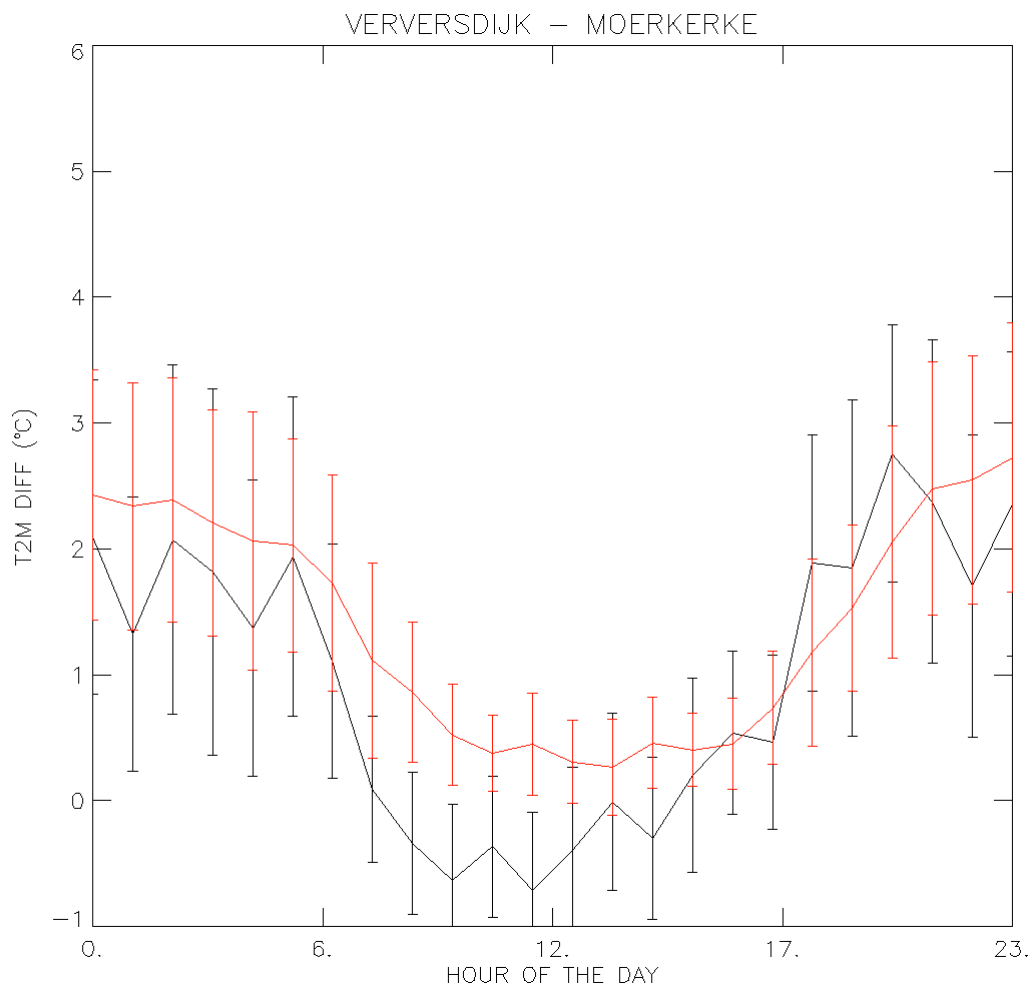


Figuur 55: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland.

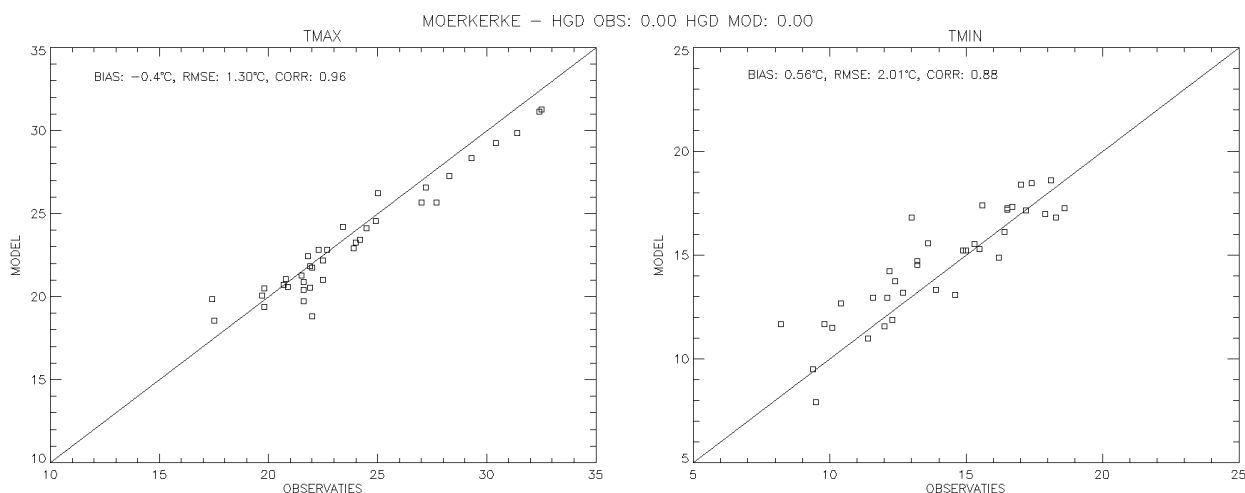


Het gemiddeld dagelijks verloop van het stedelijk hitte-eiland bevestigt de voorgaande analyse (Figuur 56). Het nachtelijke hitte-eiland in Brugge wordt goed gesimuleerd door het model, terwijl het negatieve hitte-eiland in de observaties niet wordt gereproduceerd. Aangezien de focus naar gezondheid en andere effecten van het stedelijk hitte-eiland toch vooral ligt op de nachtelijke temperatuurverschillen, lijkt dit niet direct een groot probleem voor de conclusies van deze studie.

Figuur 56: Het daggemiddelde profiel van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland. De foutenmarges geven de standaard afwijkingen op het gemiddelde weer.



Figuur 57: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgraaddagen.

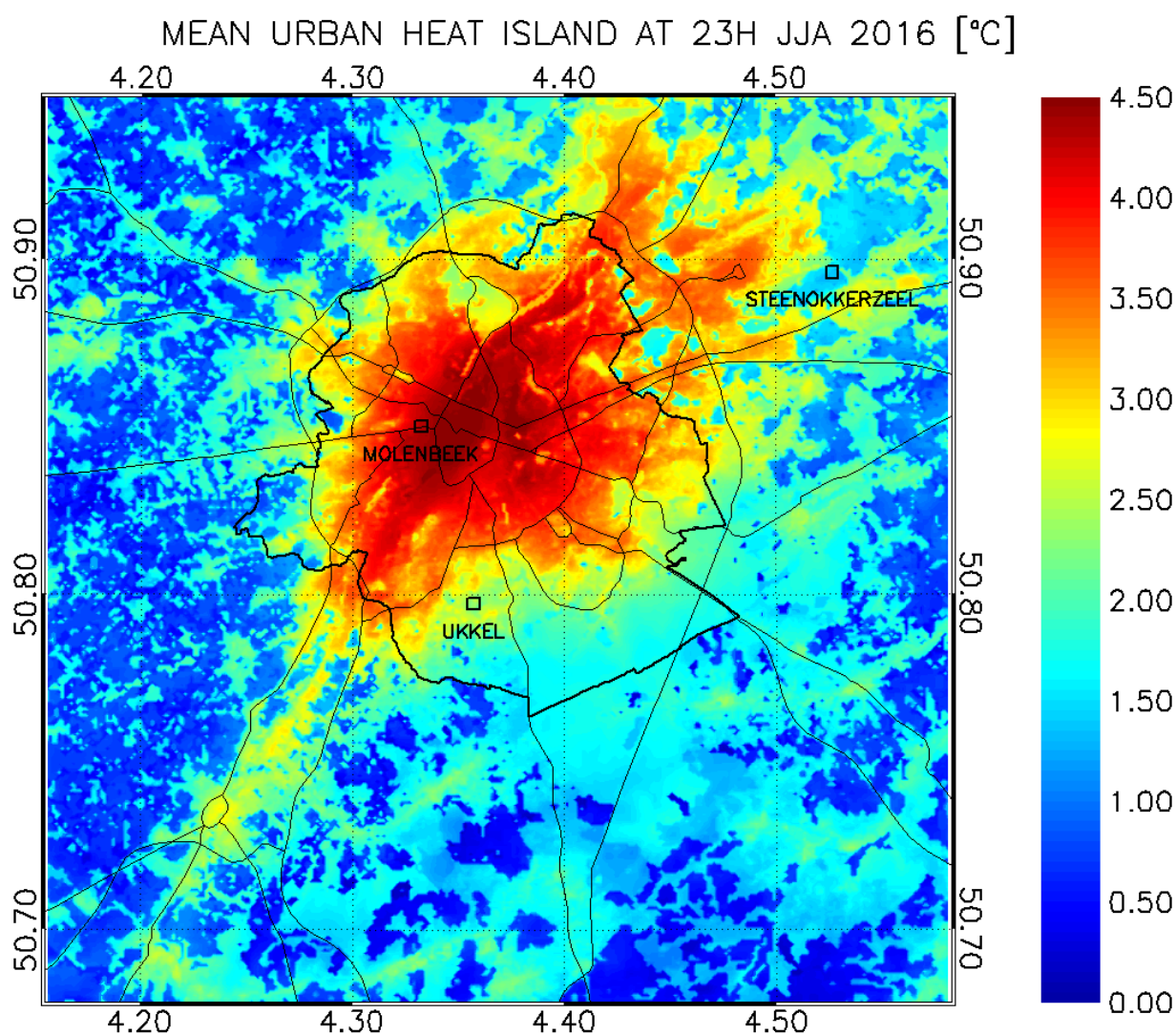


69

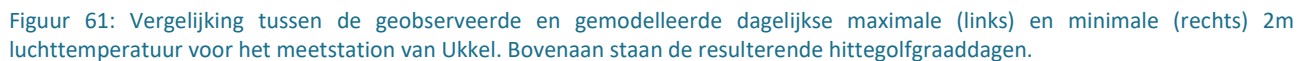
2.3.3 Brussel

Voor de stad Brussel kunnen we een beroep doen op de data van het VITO meetstation in Molenbeek voor de zomer van 2016 (20 juli tot 30 september), dat naast het meetstation van Leefmilieu Brussel is opgesteld (zie Perceel 1). Verder beschikken we enkel over dagelijkse minimum en maximum temperaturen in Ukkel (KMI) van 1 juli tot 30 september, en in Steenokkerzeel (Belgocontrol) van 1 april tot 30 september 2016. Figuur 59 toont de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijke hitte-eiland van Brussel tijdens de zomer van 2016. Het hitte-eiland bedraagt gemiddelde 4.5 °C in het centrum van Brussel, en is daarmee nog een stuk hoger dan dat van Antwerpen (3.5 °C).

Figuur 59: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Brussel om 23u tijdens de zomer van 2016.



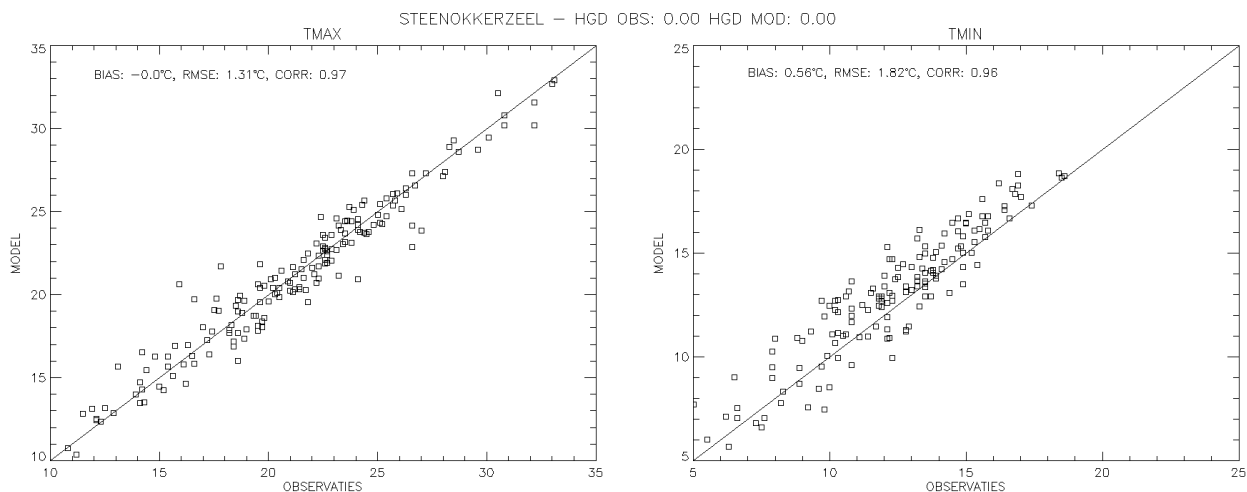
Figuur 60: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgaaddagen.



STEENOKKERZEEL — HGD OBS: 0.00 HGD MOD: 0.00

TMAX
BIAS: -0.0°C , RMSE: 1.31°C , CORR: 0.97

TMIN
BIAS: 0.56°C , RMSE: 1.82°C , CORR: 0.96



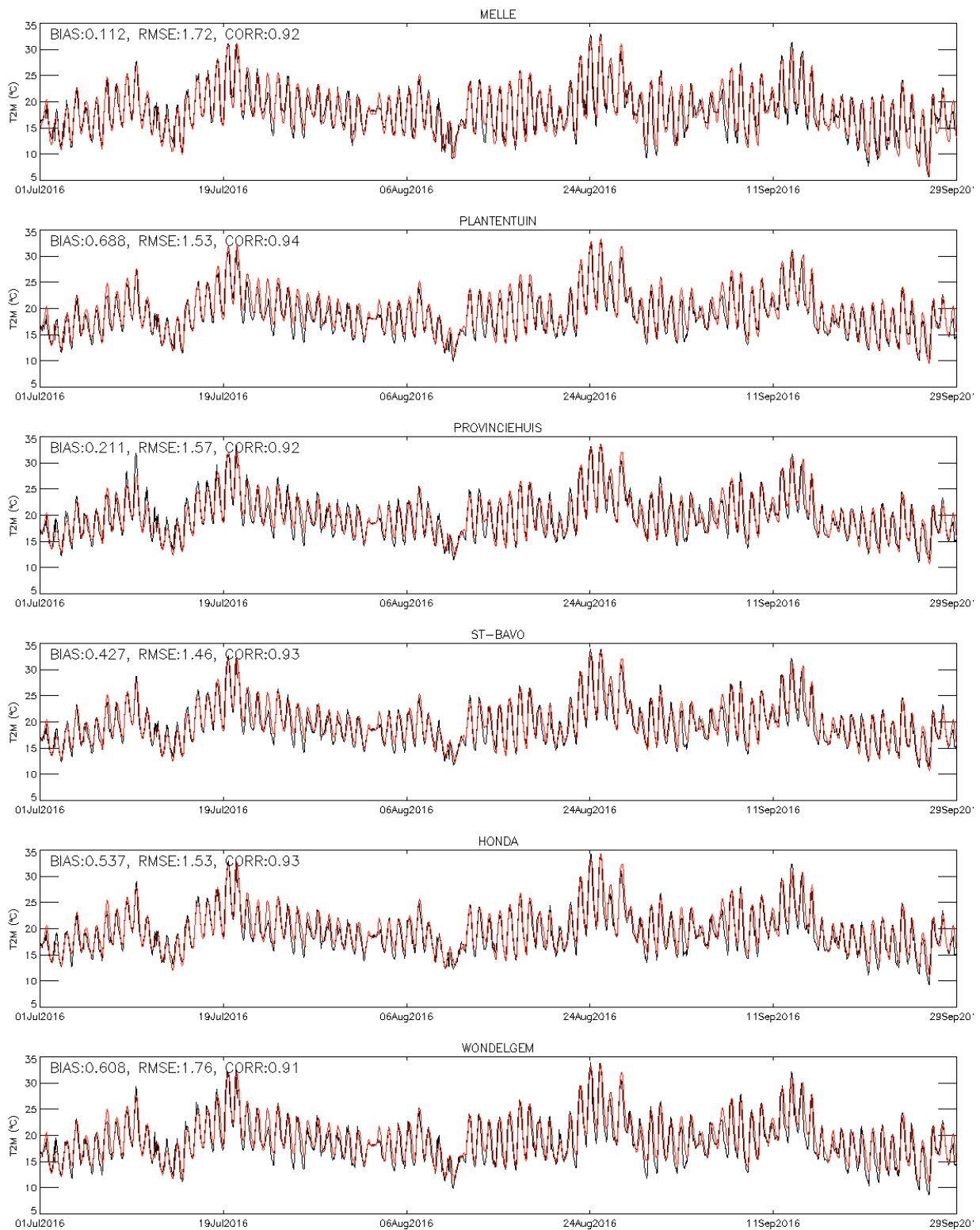
72

Voor de stad Gent beschikken we over het meest uitgebreide meetnetwerk. De UGent heeft er op 6 locaties meetstations geplaatst tijdens de zomer van 2016 (1 juli-30 september). Het meest stedelijke station is gelegen aan het Provinciehuis, terwijl het meest landelijke station dat van Melle is. Figuur 63 toont de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijke hitte-eiland van Gent tijdens de zomer van 2016. Het hitte-eiland bedraagt gemiddeld iets meer dan 3 °C in het centrum van Gent, net iets minder dan in Antwerpen (3.5 °C) en iets meer dan in Brugge (2.5 °C).

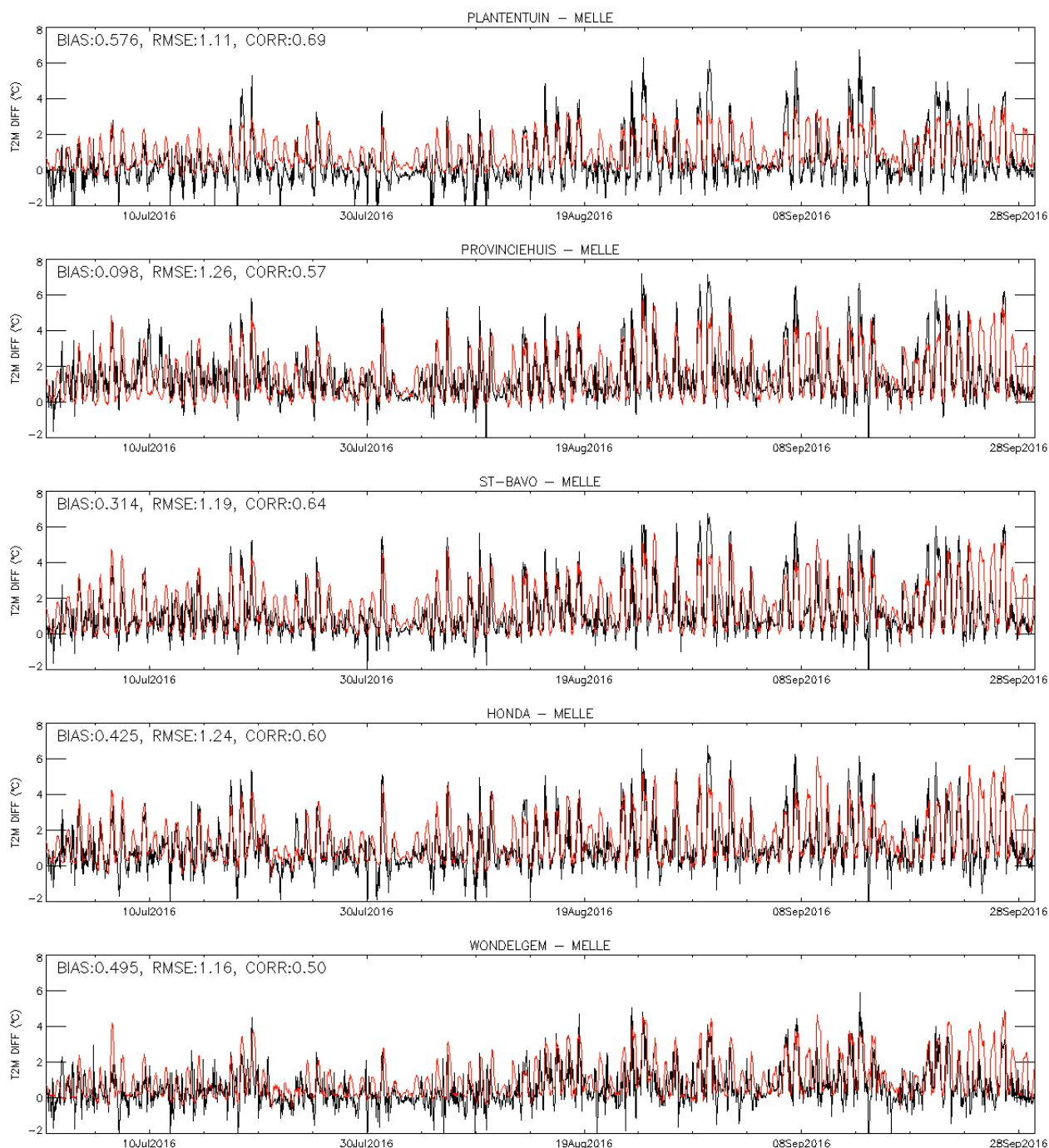
Figure 1 is a map showing the mean urban heat island at 23H JJA 2016. The map displays temperature variations across a geographic area, with a color scale ranging from 0.00 to 3.50 °C. The map is bounded by coordinates 3.60 to 3.90 on the x-axis and 51.00 to 51.10 on the y-axis. Key locations labeled include WONDELGEM, ST-BAVO, PROVINCIEHUIS, PLANTENTUIN, HONDA, and MELLE. The map shows a clear urban heat island effect, with temperatures increasing towards the center of the urban area.

Het uurlijkse verloop van de metingen en de modelresultaten tijdens de validatieperiode wordt getoond in Figuur 64. Op alle locaties is de overeenkomst tussen model en metingen behoorlijk goed, met een bias tot iets meer dan 0.5 °C, root mean square errors onder de 2 °C en correlaties die allemaal boven 0.9 liggen.

Figuur 64: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.



Figuur 65: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland.

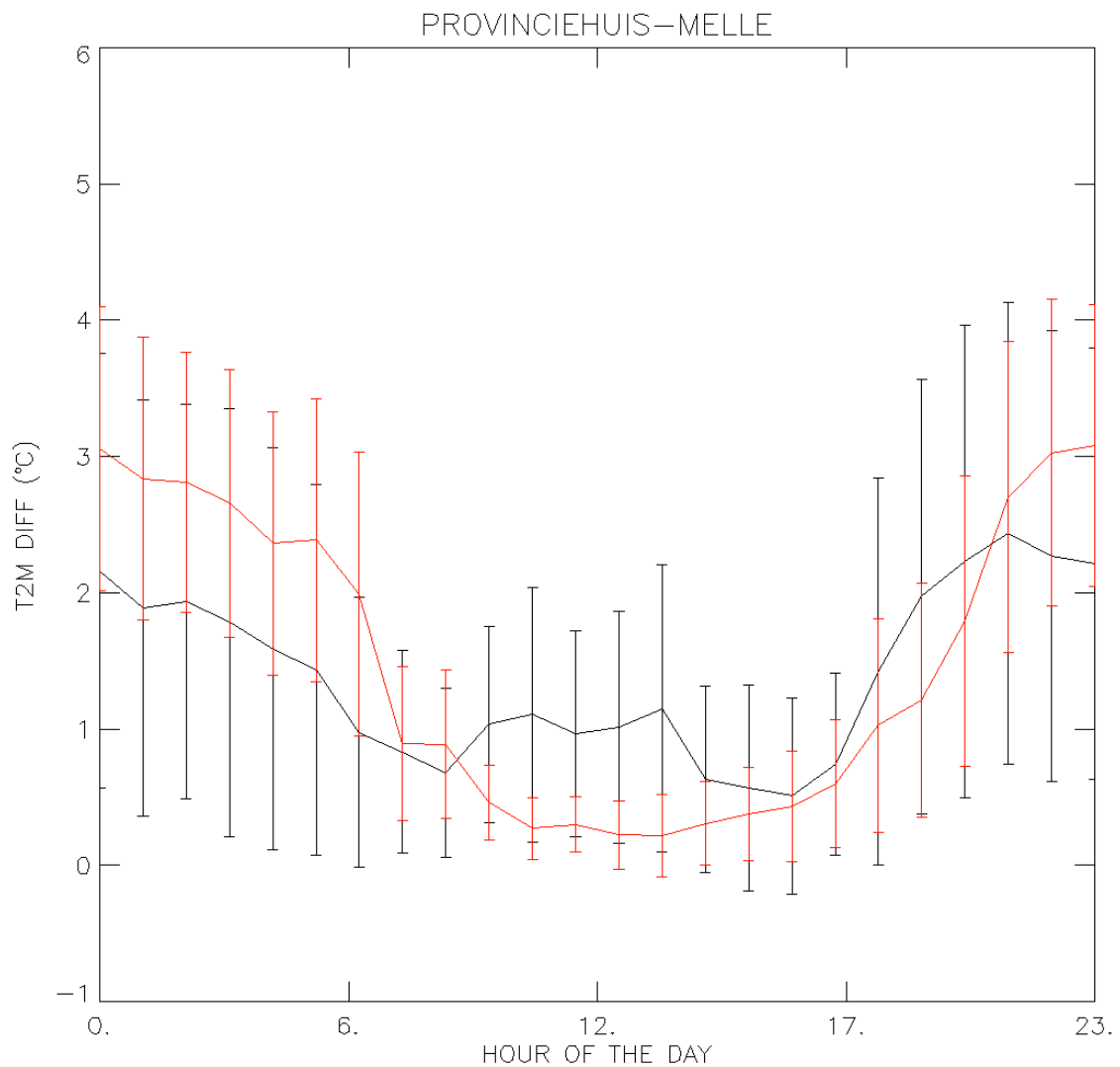


Bovenstaande figuur toont het stedelijke hitte-eiland effect voor alle locaties, telkens tegenover het rurale station in Melle. Op de meeste locaties doet het model het behoorlijk goed, al worden de hoogste pieken in de temperatuurverschillen nergens gereproduceerd. Vooral in de Plantentuin loopt de bias op tot boven de targetwaarde, en zien we net als in Brugge een systematisch negatief hitte-eiland overdag in de observaties. De statistieken voor het hitte-eiland tussen het Provinciehuis en Melle zijn wel goed, met een bias die bijna 0 °C is, een RMSE van 1.26 °C en een correlatie van bijna 0.6.

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

Daggemiddeld zien we dat het UrbClim model het nachtelijke hitte-eiland wat overschat, terwijl het overdag wat onderschat wordt (Figuur 66). Het modelgemiddelde ligt wel steeds binnen de standaard afwijkingen van de metingen, waarop erg veel variatie zit.

Figuur 66: Het daggemiddelde profiel van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland. De foutenmarges geven de standaard afwijkingen op het gemiddelde weer.



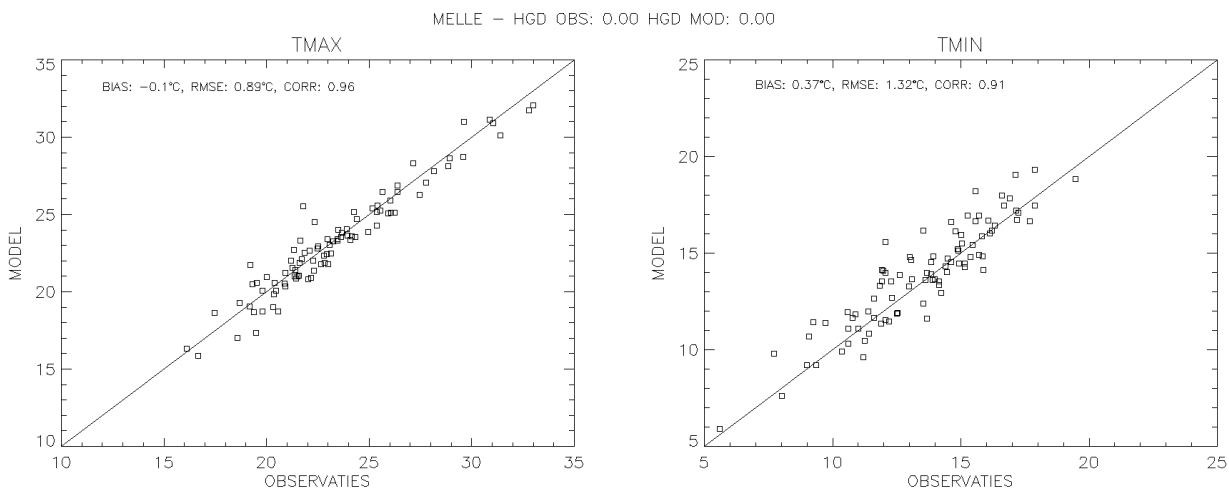
Figuur 67: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgraaddagen.



MELLE - HGD OBS: 0.00 HGD MOD: 0.00

TMAX
BIAS: -0.1°C , RMSE: 0.89°C , CORR: 0.96

TMIN
BIAS: 0.37°C , RMSE: 1.32°C , CORR: 0.91

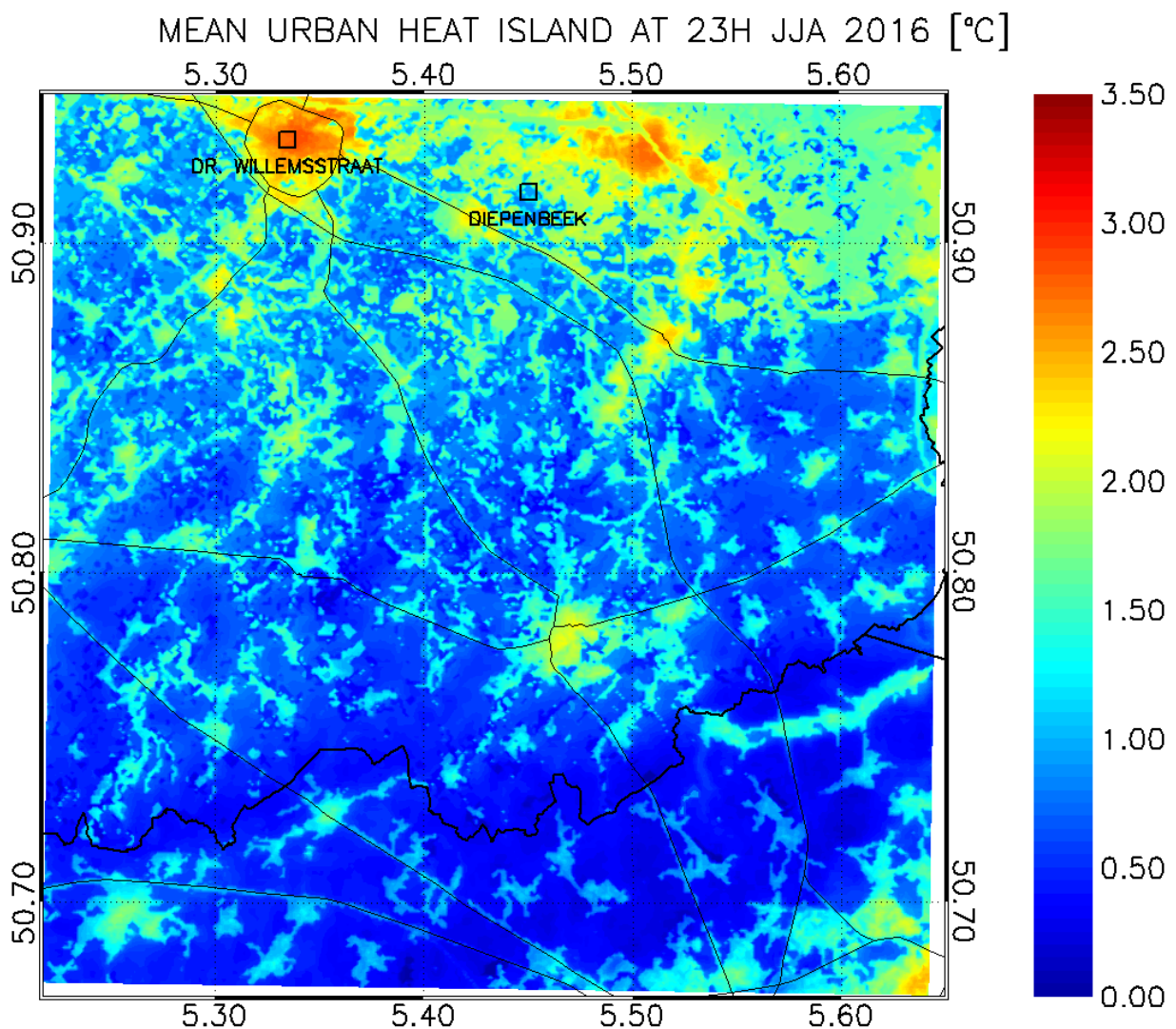


78

2.3.5 Hasselt

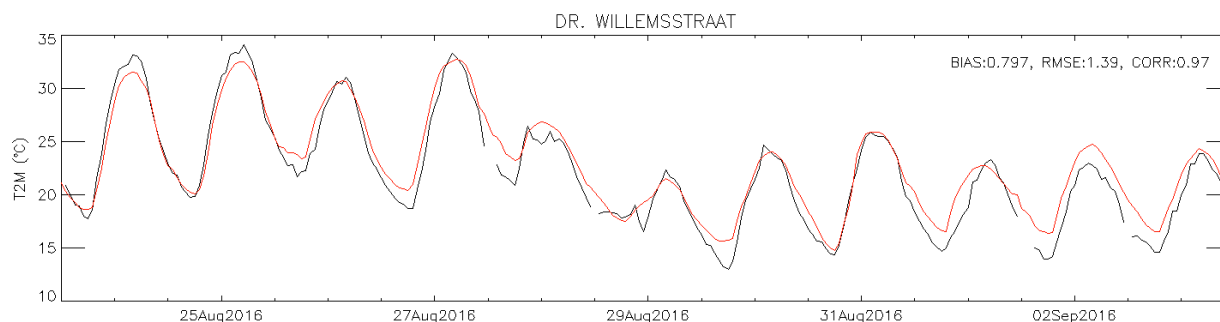
Voor de stad Hasselt zijn er data beschikbaar van het meetstation dat er door de firma Koenders is geplaatst in de Dr. Willemstraat op 24 augustus 2016. Omwille van een probleem met de ventilator van het station zijn er enkel bruikbare gegevens tot 4 september 2016. Daarnaast zijn er dagelijkse maxima en minima beschikbaar van het KMI meetstation in Diepenbeek van 1 juli tot 30 september 2016. Figuur 70 toont de locatie van de meetstations en het gemiddelde stedelijke hitte-eiland van Hasselt tijdens de zomer van 2016, dat een kleine 3 °C bedraagt, net iets meer dan in Brugge (2.5 °C) en bijna gelijk aan dat van het veel grotere Gent (3 °C) dat wel dichter bij de kust gelegen is in minder reliëfrijk terrein.

Figuur 70: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Hasselt om 23u tijdens de zomer van 2016.



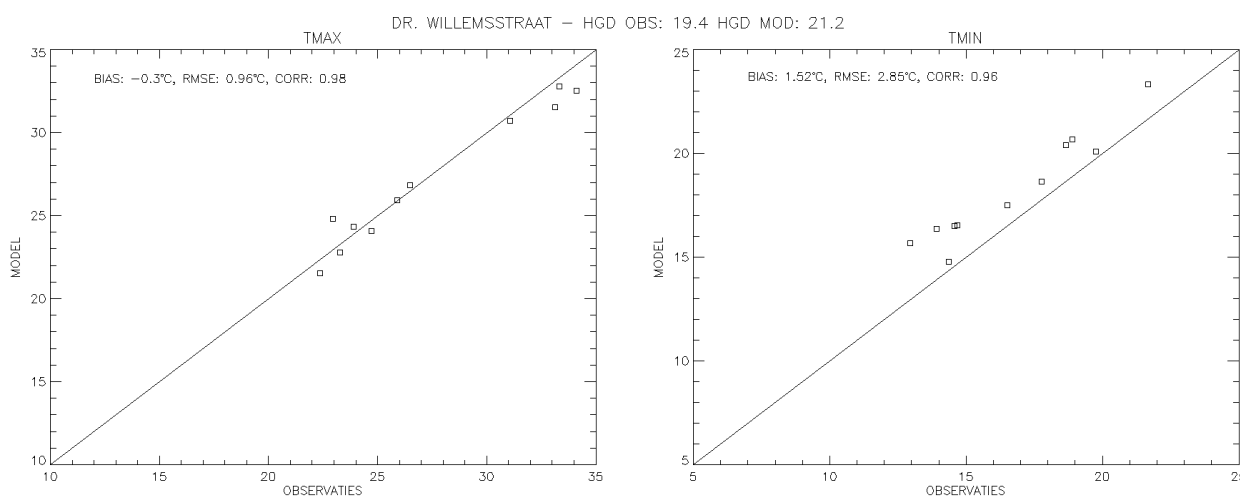
Het uurlijkse verloop van de metingen en de modelresultaten voor het meetstation in de Dr. Willemsstraat wordt getoond in Figuur 71. Tijdens deze korte validatieperiode heeft het model een positieve bias van 0.8 °C, vooral tijdens de nachten overschat het model de temperatuur. De RMSE en correlatie zijn wel prima. Aangezien er geen uurlijkse metingen voor het station van Diepenbeek beschikbaar zijn, kan het stedelijk hitte-eiland effect niet gevalideerd worden.

Figuur 71: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.



De dagelijkse maxima en minima van beide stations worden geëvalueerd in Figuur 72 en Figuur 73. Voor de maxima doet het model het opnieuw uitstekend, met op beide locaties een licht negatieve bias, een lage root mean square error en erg hoge correlatie coëfficiënten. Voor de minima zien we een opvallend grote positieve bias, zowel in de stad als op het platteland. Hierdoor zijn ook de root mean square errors erg hoog. In de stad is het effect hiervan op het aantal hittegolfgaaddagen beperkt, die liggen maar net hoger dan de geobserveerde waarde. Op het platteland komt het model wel tot bijna 8 hittegolfgaaddagen, terwijl de drempel in de observaties niet wordt gehaald. De validatieperiode (vooral in de stad) is wel erg kort, dus het is raadzaam om niet al te zware conclusies te trekken uit deze cijfers.

Figuur 72: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgaaddagen.



KMI DIEPENBEEK - HGD OBS: 0.00 HGD MOD: 7.84

TMAX
BIAS: -0.7°C , RMSE: 1.54°C , CORR: 0.96

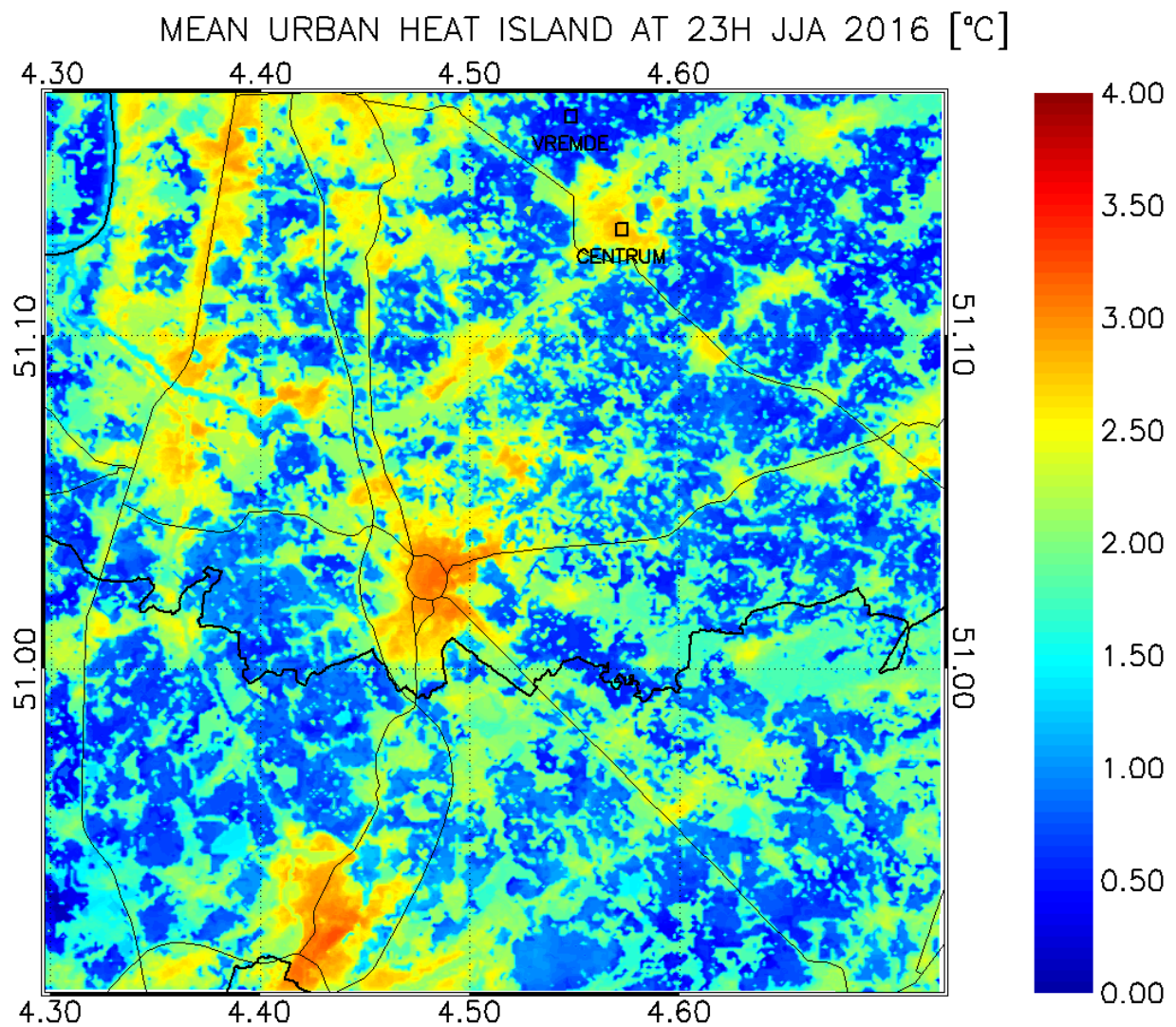
TMIN
BIAS: 1.81°C , RMSE: 6.51°C , CORR: 0.83

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

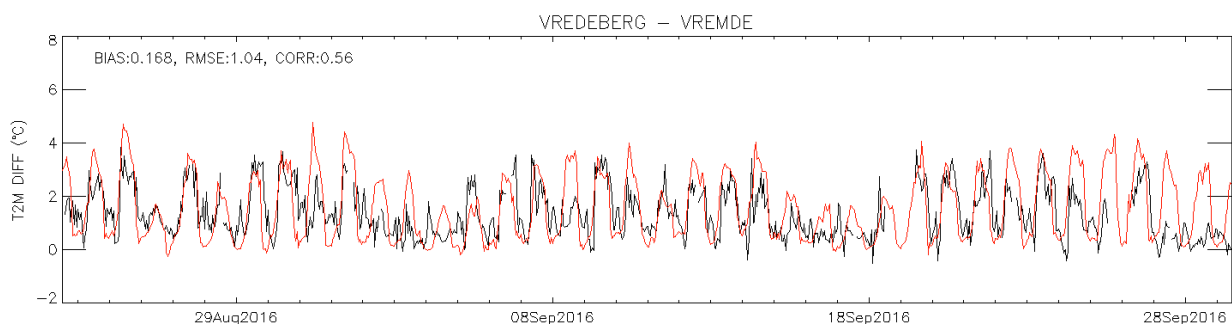
2.3.6 Lier

In Lier zijn er validatiedata beschikbaar van het meetstation dat de firma Koenders er in het centrum (CC De Vredeberg) plaatste van 24 augustus 2016 tot en met 29 september 2016, als ruraal station is het VITO meetstation in Vremde beschikbaar. Figuur 74 toont de locatie van beide meetstations en het gemiddelde stedelijke hitte-eiland van Lier tijdens de zomer van 2016, dat iets meer dan 2.5 °C bedraagt, in dezelfde grootteorde als dat van Brugge en Hasselt.

Figuur 74: Het gemiddelde stedelijke hitte-eiland in Lier om 23u tijdens de zomer van 2016.

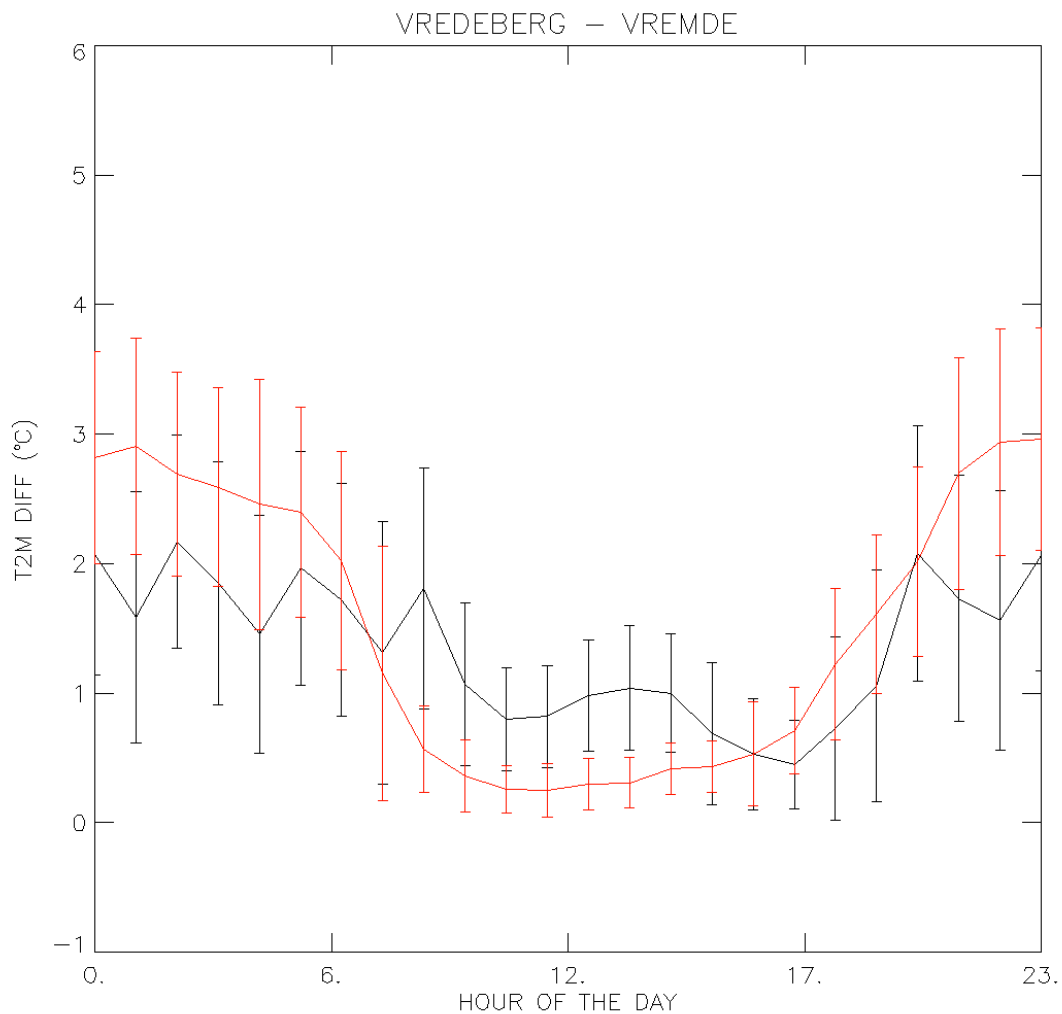


Figuur 75: Het uurlijkse verloop van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) 2m luchttemperaturen op de locatie van de metingen.

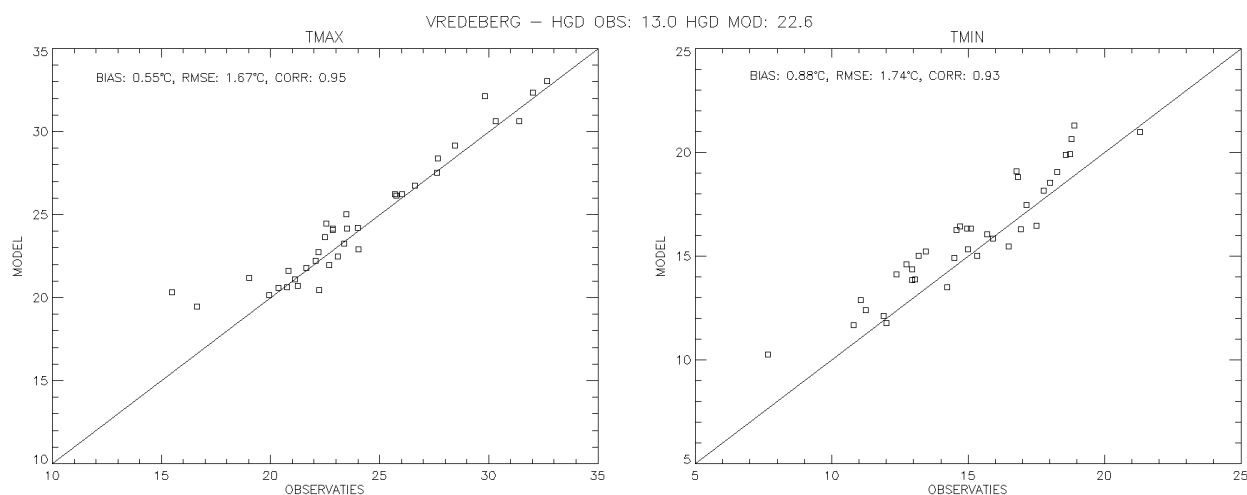


We zien dit ook gereflecteerd in het daggemiddelde stedelijke hitte-eiland (Figuur 77), dat er heel gelijkaardig uit ziet als dat van Gent. 's Nachts wordt het effect wat overschat (binnen de standaard afwijkingen van de metingen), terwijl het overdag een beetje onderschat wordt door het model.

Figuur 77: Het daggemiddelde profiel van de gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) temperatuurverschillen tussen stad en platteland. De foutenmarges geven de standaard afwijkingen op het gemiddelde weer.



Figuur 78: Vergelijking tussen de geobserveerde en gemodelleerde dagelijkse maximale (links) en minimale (rechts) 2m luchttemperatuur voor het stedelijke meetstation. Bovenaan staan de resulterende hittegolfgraaddagen.



2.3.7 Discussie en conclusie

In deze Sectie werden de resultaten van het UrbClim model, gebruikt voor de VMM MIRA Hittekaart studie, vergeleken met metingen uitgevoerd in zes verschillende steden in het kader van dit project, voornamelijk tijdens de zomer van 2016. De vergelijking focuste op de 2m luchttemperaturen, aangezien deze de basis vormen voor het berekenen van de stedelijke hitte-eiland indicator, het voornaamste einddoel van de modelberekeningen. In Tabel 5 worden de belangrijkste resultaten voor alle meetstations nog eens samen gevat.

Tabel 5: Overzicht van de gemeten en gemodelleerde gemiddelde minimale en maximale 2m luchttemperaturen (°C) en het aantal hittegolfgaardagen (°C.d.) in alle meetstations voor de zomer van 2016. Merk op dat de meetreeksen niet even lang zijn in alle stations, waardoor het niet mogelijk is om de resultaten tussen de verschillende steden/stations onderling te vergelijken.

	Tmin		Tmax		HGD	
	OBS	MOD	OBS	MOD	OBS	MOD
Borgerhout	16.00	17.16	24.30	24.01	25.5	34.7
Vremde	13.29	13.79	22.98	23.47	0.0	0.0
Verversdijk	16.03	16.65	23.54	23.78	10.3	12.0
Moerkerke	14.02	14.58	23.75	23.67	0.0	0.0
Molenbeek	15.99	16.69	24.12	24.12	37.6	46.4
Ukkel	13.73	13.90	22.77	23.27	8.8	0.0
Steenokkerzeel	10.83	11.39	20.64	20.64	0.0	0.0
Provinciehuis	15.82	16.42	24.15	23.65	31.5	42.9
Plantentuin	15.01	15.67	22.86	23.56	15.5	29.9
Melle	13.54	13.92	23.34	23.23	0.0	0.0
Dr. Willemsstraat	16.71	18.23	27.39	27.07	19.4	21.2
Diepenbeek	12.59	14.40	24.05	23.26	0.0	7.84
CC Vredeberg	15.07	15.95	24.08	24.64	13.0	22.6

Wanneer de gemeten en gemodelleerde uurlijkse 2m luchttemperaturen rechtstreeks met elkaar vergeleken worden, zien we erg consistente resultaten voor alle locaties, of ze nu stedelijk dan wel landelijk zijn. De modelresultaten blijven steeds dicht bij de metingen, met dank aan de goede ERA-Interim basis data, waar het UrbClim model dicht bij aan blijft leunen. Het model vertoont overal een licht positieve bias, gaande van 0.1 tot maximaal 0.9 °C, die vooral te wijten is aan een overschatting van de nachtelijke temperaturen. Dit is een gekend probleem in de modellerewereld, allicht te wijten aan een overschatting van de turbulente menging in stabiele omstandigheden 's nachts. De root mean square errors blijven wel steeds onder 2 °C, en de correlaties boven 0.9, hetgeen uitstekende cijfers zijn.

Wanneer we naar de temperatuurverschillen tussen stad en platteland (het stedelijke hitte-eiland) kijken, dan valt de bovengenoemde bias weg. Het correct simuleren van deze variabele is een stuk moeilijker, maar het model doet het statistisch gewijs uitstekend, met een bias die varieert tussen -0.1 en 0.5 °C, root mean square errors die maximaal 1.26 °C bedragen, en correlaties die steeds rond of boven 0.6 liggen. Uit eerder onderzoek (Garcia-Diez et al., 2016; Wouters et al., 2016) bleek dat state-of-the-art modellen typisch een score halen van 1 °C (bias), 2 °C (RMSE) en 0.6 (correlatie). UrbClim moet hier dus zeker niet voor onderdoen.

[illegible]

Tabel 6: Resultaat van de Monte Carlo simulatie op het aantal hittegolfgraaddagen (°C.d). De kolommen tonen respectievelijk de geobserveerde waarde (Obs), de gemodelleerde waarde (Mod), het gemiddelde (Mean), de standaard deviatie (Std) en de minimale (Min) en maximale (Max) bereikte waarden van de Monte Carlo simulatie.

	Obs	Mod	Mean	Std	Min	Max
Lyceum 2013	39.3	47.0	38.3	3.8	30.6	48.7
Vremde 2013	7.95	17.5	7.5	4.3	0.0	16.7

Uit de bovenstaande resultaten kunnen we besluiten dat de modelkaarten van het aantal hittegolf-graaddagen voor een specifiek jaar die in dit project geproduceerd zullen worden, allicht een lichte overschatting van de werkelijke situatie zullen weergeven. Op basis van de beperkte set aan beschikbare validatiegegevens, zowel in de ruimte als in de tijd, lijkt het ons niet mogelijk om hierop momenteel een zinvolle correctie te kunnen uitvoeren. We zien geen ruimtelijk verband tussen de afwijkingen, en deze zijn ook niet eenduidig gerelateerd aan de nachtelijke modelbias. Als er na verloop van tijd meer meetresultaten beschikbaar worden kan dit eventueel worden herbekeken. Sowieso blijken de modelresultaten slechts in beperkte mate af te wijken van de metingen, en liggen de afwijkingen niet ver van de onzekerheid op de metingen.

De resultaten tonen verder aan dat het UrbClim model duidelijk in staat is om de relatieve verschillen van jaar tot jaar, tussen stad en platteland en het effect van landgebruik- en klimaatveranderingen op een accurate manier weer te geven.

We kunnen dan ook besluiten dat het UrbClim model geschikt is voor gebruik in deze VMM MIRA Hittekaart studie.

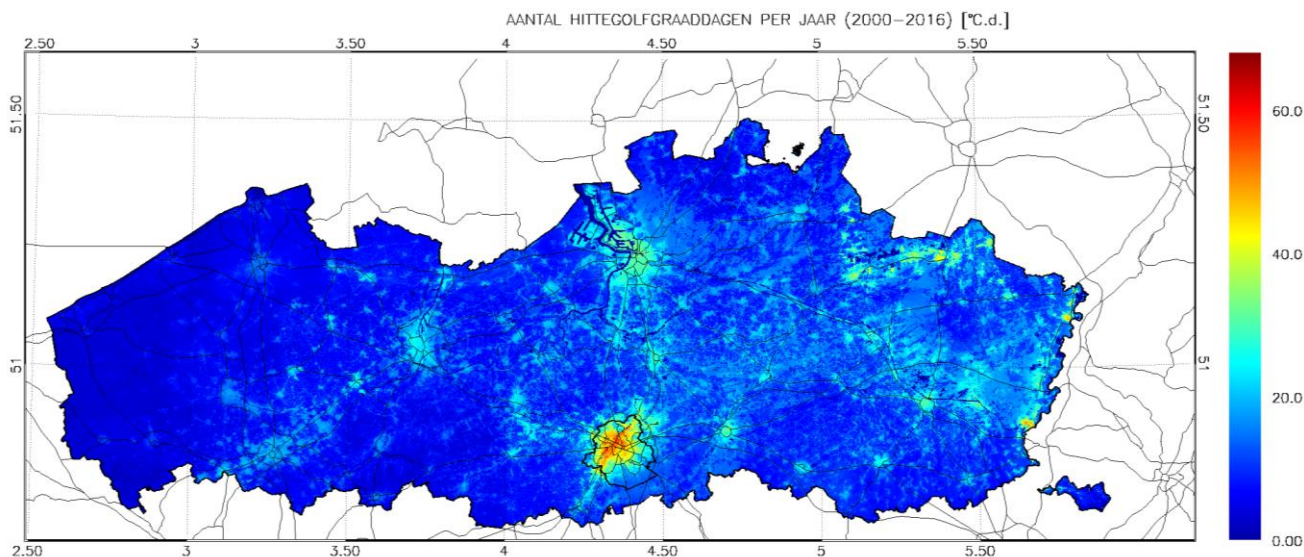
[illegible]

2.4 Basiskaarten Vlaanderen

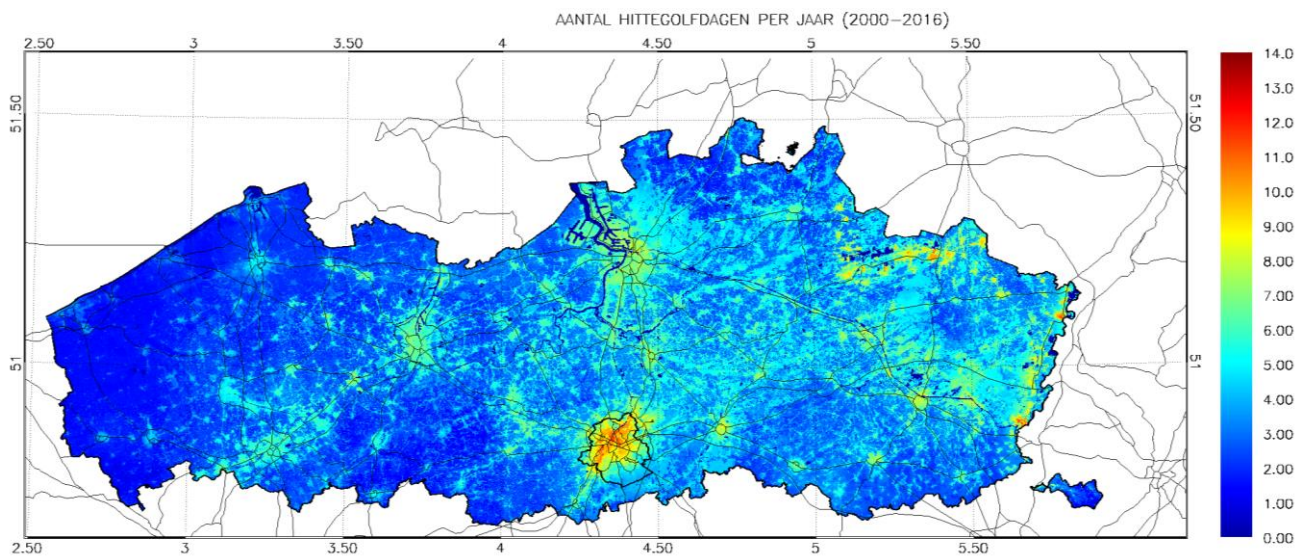
2.4.1 Huidig klimaat (2000-2016)

Aangezien veel van het kaartmateriaal dat in deze studie aangemaakt wordt, zal kunnen gevisualiseerd en geanalyseerd worden in het toekomstige VMM Klimaatportaal (de rest zal kunnen opgevraagd worden bij VMM-MIRA), beperken we ons hier tot een bespreking van de resultaten voor het aantal hittegolfgraaddagen en het aantal hittegolfdagen. Figuur 79 en Figuur 80 tonen de gemiddelde situatie in Vlaanderen en Brussel voor de referentieperiode 2000-2016 voor beide indicatoren. De hoogste waarden worden bereikt in een groot deel van het centrum van Brussel, vooral in en rond de kanaalzone, en in de steden in de Maasvallei in het uiterste oosten van Vlaanderen, waar er een warmer micro-klimaat heerst op de flanken van de zand- en grindhellingen. Verder zijn er hogere waarden in en om het centrum van Antwerpen en de haven, in de grotere centrumsteden (Gent, Mechelen, Leuven, Hasselt) en in de urbane en suburbane gebieden in de Kempen, waar de combinatie van zandgrond en gemiddeld lagere windsnelheden tot hogere temperaturen leidt. De laagste waarden vinden we in de agrarische gebieden van de Westhoek, waar de milderende invloed van de zee en de hoge gemiddelde windsnelheid aanleiding geven tot de laagste zomertemperaturen in Vlaanderen. Boven wateroppervlakken (zeker de grotere) worden de drempelwaarden tijdens deze referentieperiode bijna nooit overschreden, omdat de maximumtemperaturen er altijd onder 29.6 °C blijven. Deze kaarten komen goed overeen met eerder gemodelleerd kaartmateriaal van Wouters et al. (2017), waarbij wel een veel lagere ruimtelijke resolutie (3km) werd gebruikt.

Figuur 79: Het gemiddeld aantal hittegolfgraaddagen per jaar in Vlaanderen en Brussel voor de periode 2000-2016.

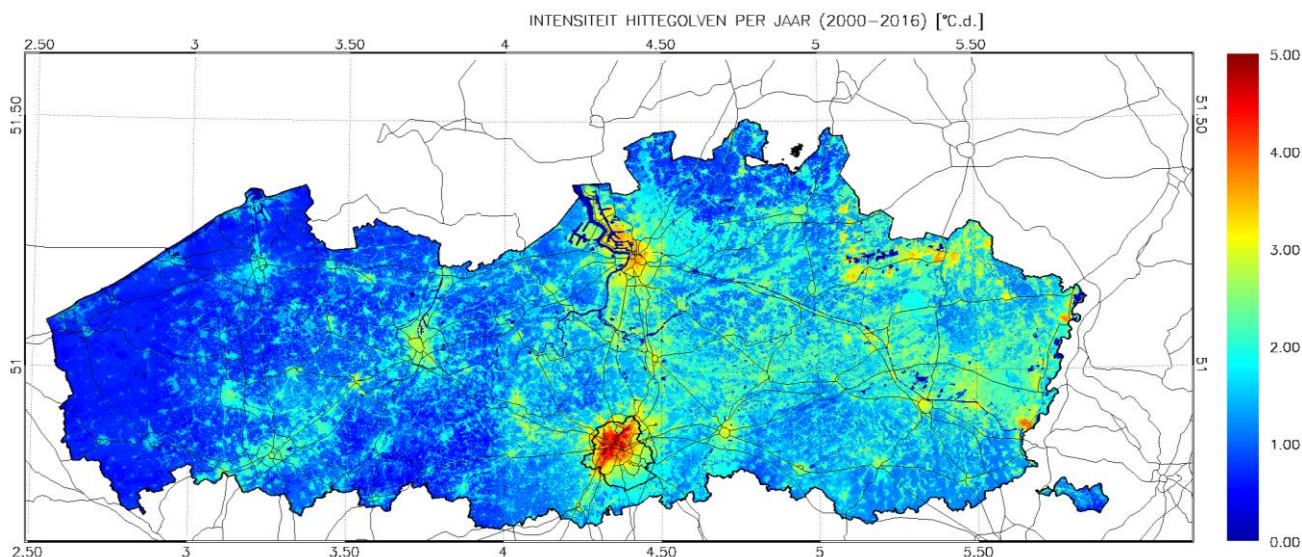


Figuur 80: Het gemiddeld aantal hittegolfdagen per jaar in Vlaanderen en Brussel voor de periode 2000-2016.



Wanneer we het aantal hittegolfgaaddagen delen door het aantal hittegolfdagen krijgen we een beeld van de gemiddelde intensiteit van een hittegolfdag in Vlaanderen (Figuur 81). Dit beeld is vrij gelijkaardig aan de twee voorgaande, al zijn de ruimtelijke verschillen iets minder uitgesproken. De gemiddelde intensiteit van de hittegolfdagen is vrij beperkt, tot maximum 5 °C.d. in Brussel. Tijdens de meeste hittegolfdagen worden de drempelwaarden dus maar net overschreden.

Figuur 81: De gemiddelde intensiteit (uitgedrukt in °C.d.) van de hittegolfdagen in Vlaanderen en Brussel voor de periode 2000-2016.



Abel 7 geeft een overzicht van de statistieken van alle jaren in de periode 2000-2016 voor beide indicatoren. Deze statistieken zijn berekend over alle gridcellen gelegen in het Vlaamse Gewest (dus zonder het Brussels Hoofdstedelijk Gewest). Moest Brussel worden meegenomen dan zouden de maxima tijdens de meeste jaren nog iets hoger oplopen, omdat de hoogste waarde op de kaart meestal in Brussel is te vinden.

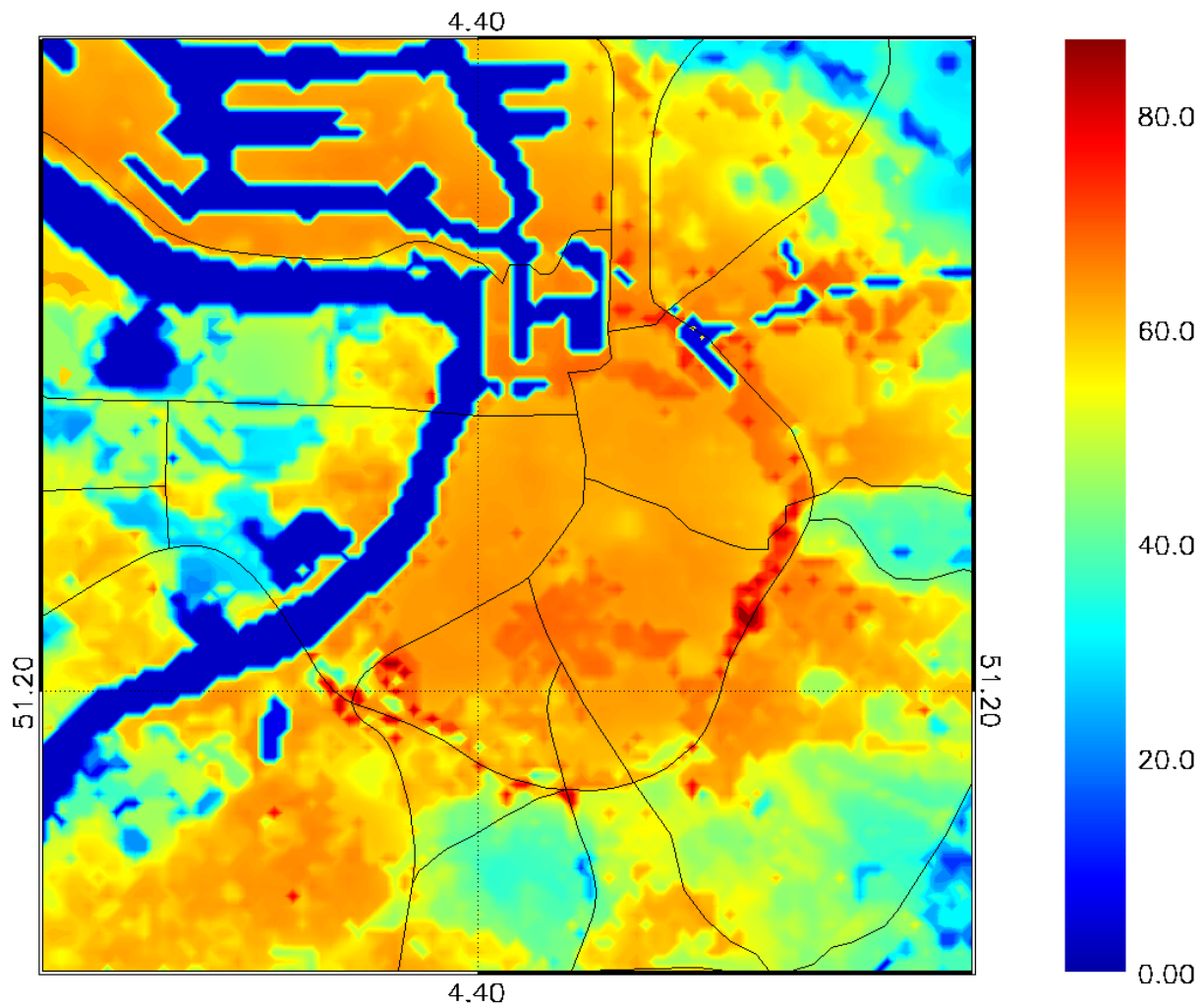
het valt op dat er grote verschillen zijn tussen de verschillende jaren. Tijdens sommige jaren (bv. 2000, 2008, 2011) is er amper sprake van hittestress in Vlaanderen. En hoewel voor veel mensen de zomer van 2003 nog in het geheugen zit (vooral door de hete maanden juli en augustus) was in zijn totaliteit (van april tot en met september) 2006 het warmste jaar uit de recente geschiedenis, met gemiddeld 10 tot maximaal 19 hittegolfdagen en gemiddeld 80 hittegolfgreaddagen. Net daarna volgen de jaren 2003, 2010, 2013 en 2015 die net iets minder warm waren. Gemiddeld gezien ondergaan we in Vlaanderen en Brussel zo'n 13 hittegolfgreaddagen per zomer tijdens 4 hittegolfdagen, waarbij er dus wel grote ruimtelijke verschillen zijn en vooral de stadsbewoners het veel zwaarder te verduren krijgen.

Figuur 7: Statistieken van het aantal hittegolfgraaddagen en hittegolfdagen per jaar tijdens de periode 2000-2016 in het Vlaamse Gewest

	Hittetogfgraaddagen			Hittetogfdagen		
Jaar	Minimum	Gemiddeld	Maximum	Minimum	Gemiddeld	Maximum
2000	0.0	2.0	18.8	0.0	0.8	4.0
2001	0.0	5.3	61.5	0.0	2.6	16.0
2002	0.0	5.5	62.7	0.0	2.9	15.0
2003	0.0	23.7	139.3	0.0	6.9	25.0
2004	0.0	0.2	41.7	0.0	0.1	12.0
2005	0.0	2.5	47.3	0.0	1.0	18.0
2006	0.0	78.1	178.3	0.0	9.4	28.0
2007	0.0	0.2	19.1	0.0	0.1	8.0
2008	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	3.0
2009	0.0	0.0	18.6	0.0	0.0	11.0
2010	0.0	33.3	122.9	0.0	4.9	22.0
2011	0.0	3.5	21.0	0.0	1.1	4.0
2012	0.0	10.4	47.2	0.0	3.4	10.0
2013	0.0	11.9	76.5	0.0	4.3	20.0
2014	0.0	5.4	40.5	0.0	1.9	9.0
2015	0.0	27.9	121.5	0.0	6.5	26.0
2016	0.0	10.2	72.0	0.0	4.6	15.0
2000-2016	0.0	13.0	64.0	0.0	3.6	13.0

Aangezien de hittegolfgraaddagen indicator vrij complex is en moeilijk uit te leggen valt aan een breed publiek, is er in de loop van deze studie nagedacht over een te gebruiken drempelwaarde die aangeeft wanneer hittestress 'ondraaglijk' wordt, gericht op de communicatie en visualisatie van het kaartmateriaal, met ook de projecties naar de toekomst toe in het achterhoofd. Er is uiteindelijk geopteerd om een drempelwaarde van 60 °C.d. te gebruiken, hetgeen ongeveer overeenkomt met de huidige maximale hittestress in Vlaanderen, gemiddeld over alle zomerperiodes (Tabel 7). Deze waarde komt ook overeen met het aantal hittegolfgraaddagen in de Antwerpse binnenstad tijdens de zomer van 2003, die bij veel mensen nog in het geheugen zit wegens zijn extreme warmte in juli en augustus (Figuur 82).

HITTEGOLFGRAADDAGEN 2003 [°C.d.]

[illegible]

2.5 Toekomstprognoses

In deze sectie bekijken we de invloed van de verwachte klimaat- en landsgebruiksveranderingen op de verschillende indicatoren. Er worden zowel kaarten aangemaakt die enkel het veranderende klimaat in rekening brengen, als kaarten die het veranderende klimaat combineren met het veranderende landgebruik. Aangezien volledige UrbClim simulaties uitvoeren voor alle klimaatscenario's, toekomstperiodes en landgebruiksscenario's onmogelijk was binnen de timing van dit project, hebben we geopteerd om statistische technieken te gebruiken om de kaarten aan te maken. Deze technieken worden in meer detail beschreven in de volgende secties. We dienen hierbij op te merken dat de resultaten van deze statistische technieken lichtjes kunnen afwijken van de gebruikelijke UrbClim simulaties (zie ook Lauwaet et al., 2015). Deze afwijking (of onzekerheid) in de resultaten is echter verwaarloosbaar in vergelijking met de onzekerheid die gepaard gaat met de toekomstprognoses voor zowel het klimaat als het landgebruik.

2.5.1 Methodologie

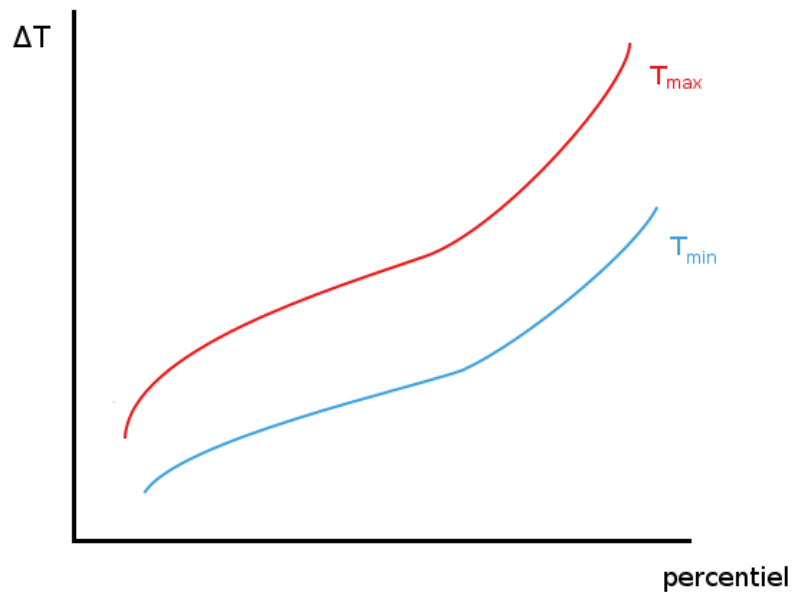
2.5.1.1 Toekomstig klimaat

Klimaatdata

Om de klimaatverandering in beeld te brengen, steunen we grotendeels op de MIRA toekomstscenario's die werden aangemaakt door de KU Leuven in het kader van het MIRA klimaatrapport (Brouwers et al., 2015). In het klimaatrapport worden drie Vlaamse klimaatscenario's gedestilleerd uit de klimaatmodelprojecties van het Coupled Model Intercomparison Project nr. 5 (CMIP5; Taylor et al., 2012), een internationaal gecoördineerd kader voor het simuleren, evalueren en vergelijken van klimaatprojecties voor de toekomst op basis van mondiale klimaatmodellen (General Circulation Models of Global Climate Models). De drie scenario's omvatten de volledige waaier aan toekomstperspectieven, gaande van het IPCC RCP2.6-scenario (het meest optimistisch scenario) tot het RCP8.5-scenario (het meest pessimistisch scenario, of business as usual scenario zonder bijkomend klimaatbeleid). Uit alle beschikbare modelruns werden Vlaamse scenario's afgeleid die overeenkomen met het 5^e, 50^e en 95^e percentiel van alle data in de CMIP5-database. Deze scenario's werden respectievelijk 'laag', 'midden' en 'hoog' genoemd. Een vergelijking van deze Vlaamse scenario's met de RCP scenario's is te vinden in de Supporting Text S7 van de publicatie van Wouters et al. (2017)².

De MIRA klimaatscenario's voor Vlaanderen geven, voor elke maand, de verandering van de gemiddelde maandtemperatuur tussen de referentiesituatie (2000 – 2009) en de toekomsthorizon. Binnen dit project wordt gebruik gemaakt van drie verschillende toekomsthorizons: 2015 – 2024 (als representatieve periode voor het jaar 2020), 2025 - 2034 (voor 2030), 2045 – 2054 (voor 2050) en 2091 – 2100 (voor 2100). De koppeling van de percentielen en gebruikte periode aan de toekomstjaren wordt verder verduidelijkt in Tabel 8. Deze data zijn speciaal aangemaakt voor dit project en hiervoor zijn de modelgemiddelden voor het volledige Vlaamse grondgebied berekend, in tegenstelling tot het enkel bekijken van de resultaten voor Ukkel in het MIRA klimaatrapport (Brouwers et al., 2015).

² Beschikbaar op: <http://onlinelibrary.wiley.com/store/10.1002/2017GL074889/asset/supinfo/grl56322-sup-0001-supplementary.pdf?v=1&s=6e38f228d441ec7df35455264b36627712dec882>



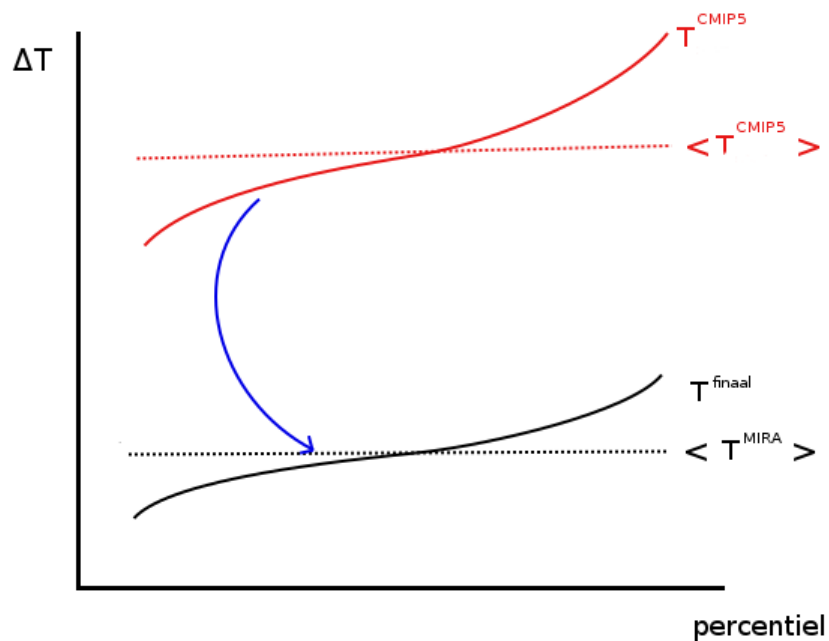
VITO heeft dergelijke profielen reeds eerder berekend in het kader van het Europese RAMSES-project (www.ramses-cities.eu, Referentie Deliverable 4.2). De berekening steunt op de resultaten van een ensemble bestaande uit elf klimaatmodellen uit de CMIP5-database. Een korte analyse heeft ook aangetoond dat deze profielen representatief zijn voor het algemene ensemble bevat in de volledige database. Via een gelijkaardige methode hebben we in dit project voor elke toekomsthorizon en elk scenario een profiel berekend voor alle (zomer)maanden. We beschouwen hierbij een apart profiel voor minimum-, gemiddelde en maximumtemperaturen. Aangezien de scenario's en periodes bevat in de database in het kader van het RAMSES project niet volledig matchen met de scenario's die hier beschouwd worden, werd een mapping aangelegd tussen beide. Deze mapping wordt aangegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Overzicht van de gebruikte percentielen en periodes uit de CMIP5-klimaatscenario's in de huidige studie.

		Gebruikt RCP scenario			Gebruikte periode	
Scenario		RCP4.5	RCP8.5		2026-2045	2081-2100
Hoog	2020		x		x	
	2030		x		x	
	2050		x		x	
	2100		x			x
Midden	2020	x			x	
	2030	x			x	
	2050	x				x
	2100	x				x
Laag	2020	x			x	
	2030	x			x	
	2050	x				x
	2100	x				x

Finaal worden de percentielen uit de CMIP5 database gecombineerd met de verwachte gemiddelde opwarming uit de MIRA-klimaatsscenario's om herschalingsfuncties te bekomen. Voor daggemiddelde temperaturen wordt in deze stap de gemiddelde opwarming geobserveerd in de profielen herschaald, zodat de gemiddelde opwarming gelijk is aan deze in de MIRA-klimaatsscenario's. Grafisch komt de methode er op neer om de profielen zoals weergegeven in Figuur 83 verticaal te verschuiven zodat de gemiddelde opwarming over de percentielen heen gelijk is aan de gemiddelde opwarming uit de MIRA-klimaatsscenario's. Deze nieuwe profielen zijn dus zo geconstrueerd dat (voor daggemiddelde temperaturen) de gemiddelde opwarming per maand overeenkomt met deze uit het MIRA-scenario, terwijl het profiel over de verschillende percentielen matcht met het profiel uit de CMIP5 database. Deze methodologie wordt geïllustreerd in Figuur 84.

Voor dagmaxima (respectievelijk dagminima) wordt tenslotte een extra verschuiving toegepast die gelijk is aan het verschil tussen de toename van de dagmaxima (respectievelijk minima) en het daggemiddelde, zoals geobserveerd in de CMIP5-profielen.



Men kan het aanmaken van deze percentiën ook formulegewijs formuleren. Voor gemiddelde temperaturen bekomen we dat de opwarming als een functie van het percentiel van de huidige temperatuur, $\Delta T_{gem}(p)$, gelijk is aan:

$$\Delta T_{gem}(p) = \Delta T_{gem}^{CMIP5}(p) + (\Delta T_{gem}^{MIRA} - \langle \Delta T_{gem}^{CMIP5}(p) \rangle_p),$$

Waarbij $\langle X \rangle_p$ het gemiddelde (over de percentielen) aangeeft, en de superscripts wijzen op CMIP5- of MIRA-temperatuursveranderingen. Voor dagelijkse minima voeren we bijkomend een correctie in om het verschil tussen de verandering in de minimum- en de gemiddelde temperatuur in rekening te brengen:

$$\Delta T_{min}(p) = \Delta T_{gem}^{CMIP5}(p) + (\Delta T_{gem}^{MIRA} - \langle \Delta T_{gem}^{CMIP5}(p) \rangle_p) + (\Delta T_{min}^{CMIP5}(p) - \Delta T_{gem}^{CMIP5}(p)).$$

Voor dagelijkse maxima maken we gebruik van een gelijkaardige formule waarbij het maximumprofiel uit de CMIP5-database gebruikt wordt.

////////////////////////////////////

Statistische methode

Het effect van de klimaatverandering op de hittekaarten wordt via een statistische methode in rekening gebracht. Hierbij worden de tijdsreeksen voor dagelijkse minima, maxima en gemiddelde temperaturen uit de referentieperiode (2000 - 2016) herschaald naar de toekomst op basis van de herschalingsfuncties berekend in de vorige paragrafen. We behouden dus dezelfde tijdreeksen als in het referentiescenario, maar de temperaturen worden wel herschaald om het toekomstige klimaat in rekening te brengen. Deze methode staat in de literatuur ook bekend als de *“pseudo global warming method”*, en wordt vaak toegepast om langdurige en uitgebreide modellering op basis van het toekomstige klimaat haalbaar te maken. Deze methode werd door VITO reeds eerder gevalideerd door de resultaten van UrbClim simulaties aangedreven met CMIP5 data te vergelijken met de resultaten van de statistische methode. Deze analyse toonde aan dat de onzekerheden die gepaard gaan met de methode veel lager zijn dan de onzekerheden die gepaard gaan met de klimaatscenario's (Hooyberghs et al., 2015; Lauwaet et al., 2015).

In de praktijk maakt de methode gebruik van drie stappen. 1) In eerste instantie wordt voor elke dag van de huidige tijdreeks van 17 jaar een rurale referentietemperatuur bepaald door het 10^e percentiel over de kaarten met de huidige data te nemen³. 2) Daarna wordt voor elke dag bepaald bij welk percentiel de minimale, gemiddelde en maximale rurale temperatuur van die dag behoort. Hierbij worden de percentielen maand per maand berekend, zodat het maandelijks profiel bevat in de MIRA klimaatscenario's gebruikt kan worden. 3) In een derde stap nemen de dagelijkse minimum-, maximum- en gemiddelde temperaturen dan toe volgens de herschalingsfuncties die werden afgeleid in de vorige sectie. Zoals eerder aangegeven zijn de gebruikte cijfers gemiddeld over heel Vlaanderen, dus we nemen hier aan dat dezelfde opwarming wordt waargenomen over het hele domein van de studie.

Deze methode neemt impliciet aan dat de temperatuurstoename in steden even groot is als deze op het platteland, en dat het temperatuursverschil tussen stad en platteland dus niet toeneemt. Dit is niet onlogisch: gelijkaardige resultaten in België werden bekomen in studies waarin een volledige modellering werd toegepast, zowel met het UrbClim model zelf (Hooyberghs et al. 2015; Lauwaet et al. 2015), als met andere modellen (bv. Hamdi et al., 2013). De gebruikte methodologie stemt ook overeen met deze toegepast door Wouters et al. (2017) in een gelijkaardige studie voor Vlaanderen.

Om de impact van bovenstaande methode op de indicatoren te illustreren, wordt in Figuur 85, Figuur 86 en Figuur 87 het verschil in aantal hittegolfgraaddagen getoond tussen de referentie periode en respectievelijk de jaren 2030, 2050 en 2100 volgens het ‘hoog’ klimaatscenario. Door de klimaatverandering worden de bestaande ruimtelijke verschillen verder uitgediept (de verschilkaart toont eenzelfde patroon als de referentie kaart), hetgeen niet onlogisch is aangezien op de nu al gevoelige locaties de drempelwaarden het makkelijkst worden overschreden. Enkel voor 2100 zien we dat de ruimtelijke verschillen iets kleiner worden omdat de opwarming dermate groot is dat overal de drempelwaarden makkelijk worden overschreden, zelfs boven wateroppervlakken. Verder zien we dat de opwarming in dit ‘hoog’ scenario erg sterk is: tegen 2030 gaat het om een verdubbeling van het aantal hittegolfgraaddagen, tegen 2050 worden het er ongeveer 3 keer zoveel en tegen het einde van de eeuw bijna een vertienvoudiging.

³ We hebben hier ook enkele alternatieve methodes getest door bijvoorbeeld gebruik te maken van een vaste locatie op de kaart, en de verschillen tussen deze methodes zijn verwaarloosbaar. Er werd uiteindelijk gekozen om toch het 10^e percentiel over de kaarten te gebruiken, aangezien deze methode overeenkomt met deze welke eerder gebruikt werd in het RAMSES-project (Hooyberghs et al. 2015).

Figuur 87: Het effect van de klimaatverandering op het aantal hittegolfgaaddagen in Vlaanderen en Brussel in 2100 volgens het 'hoog' scenario.

2.5.1.2 Toekomstig landgebruik

Om het veranderende landgebruik in rekening te brengen, maken we gebruik van de prognoses van het landsgebruik volgens het 'business as usual' scenario, opgemaakt door VITO met behulp van het Ruimtemodel in opdracht van de Vlaamse overheid. Deze kaarten geven voor alle jaren tot 2050 de verwachte landsgebruiksverandering weer. In deze studie maken we gebruik van de kaarten voor 2020, 2030 en 2050. Voor het jaar 2100 werken we met het landgebruik van 2050.

Voor alle toekomstjaren observeren we volgende tendensen:

Naast deze algemene tendensen zijn er nog verschillende lokale aanpassingen die we hier niet in detail zullen bespreken.

Statistische methode

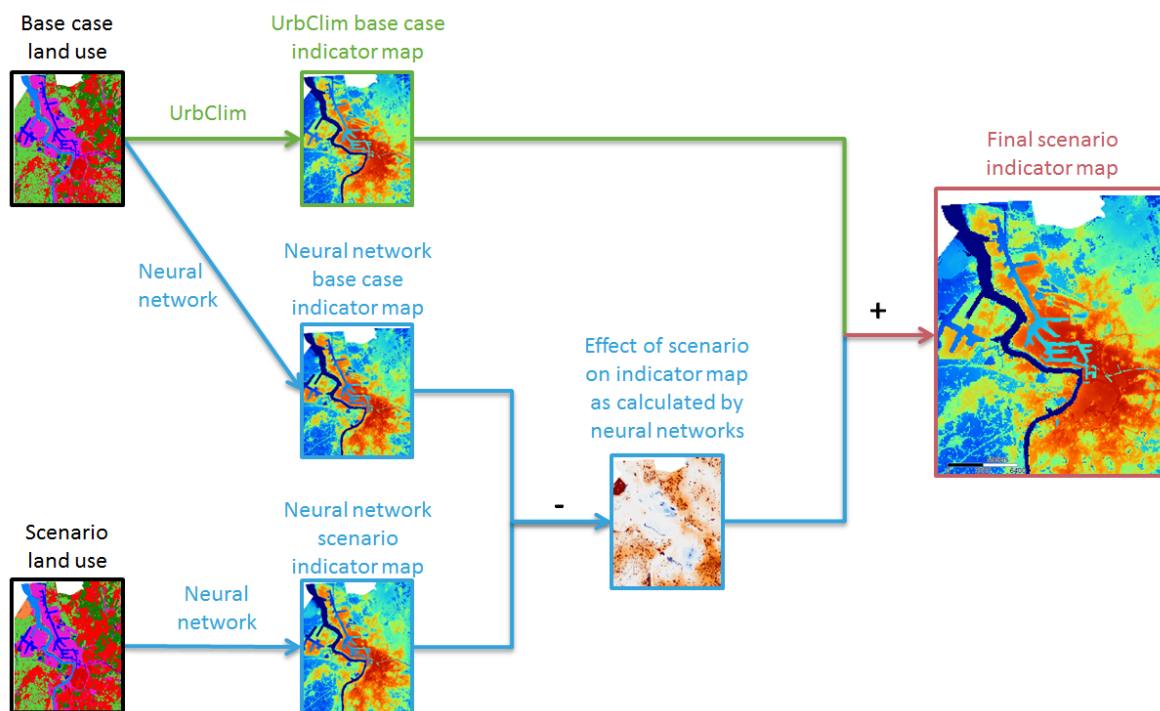
Net als bij de klimaatveranderingen opteren we om de veranderingen in het landgebruik via een statistische methode in rekening te brengen. De algemene methodologie bestaat uit drie stappen en maakt daarbij gebruik van neurale netwerken.

In een eerste stap worden neurale netwerken aangemaakt die de link leggen tussen de indicatorkaarten en het onderliggende landgebruik/vegetatie/verharding. Meer in detail zijn de neurale netwerken getraind op basis van de indicatorkaarten die bekomen werden met behulp van de “*pseudo global warming method*” voor de toekomstjaren (dus op de kaarten voor de toekomst die enkel de klimaatverandering in rekening nemen) en het landgebruik/vegetatie/verharding in de respectievelijke periode. Voor de kenners: het netwerk zelf is een standaard feed-forward netwerk met 10 verborgen neuronen dat getraind werd op basis van Levenberg- Marquardt backpropagation.

In een tweede stap worden de neurale netwerken gebruikt om de indicatorkaarten aan te maken, zowel op basis van het referentie landgebruik als op basis van het gewijzigde landgebruik. Zo wordt het verschil tussen beide kaarten gebruikt als het effect ten gevolge van het veranderende landgebruik.

In de finale stap wordt dit effect dan gesuperponeerd bovenop de basiskaart voor het toekomstscenario, om zo het gecombineerde effect van het veranderende landgebruik en het veranderende klimaat zo correct mogelijk in rekening te brengen. De laatste twee stappen van de methodologie worden geïllustreerd in Figuur 88.

Figuur 88: Visualisatie van de laatste twee stappen van de statistische methode om de landgebruiksveranderingen in rekening te brengen.



Validatie van de statistische methode

In het kader van deze studie werd deze methode eerst ontwikkeld en getest voor het subdomein rond Antwerpen. Voor dit subdomein werden zowel UrbClim simulaties met het referentie-landgebruik, als simulaties met het landgebruik voor 2050 uitgevoerd. De veranderingen in de belangrijkste indicatoren uit de studie werden vervolgens zowel berekend op basis van de UrbClim-resultaten, als met de statistische methode. We rapporteren hier resultaten voor drie indicatoren (gemiddelde temperatuur, cooling degree days⁴ en het aantal hittegolfdagen volgens de KMI definitie), welke de volledige waaier aan type-indicatoren bevatten⁵. We focussen op resultaten met meteorologische input voor het jaar 2015, maar gelijkaardige resultaten worden bekomen als andere meteorologische input gebruikt wordt.

Tabel 10 toont de belangrijkste validatiestatistieken voor deze drie indicatoren, en Figuur 89 toont de bijhorende scatterplots. In beide gevallen vergelijken we het verschil in de indicator geobserveerd met de UrbClim modellering met het verschil geobserveerd in de statistische methode. De tabel leert ons dat de bias klein is, wat inhoudt dat het verschil tussen het gemiddelde resultaat over het domein in beide methodes klein is. De RMSE geeft verder aan hoeveel scatter er is. Aangezien ook dit getal klein is (in vergelijking met

⁴ Cooling degree days (CDD) worden gedefinieerd analoog aan de intensiteits-indicatoren uit de hittekaartstudie, en sommen de toename van de temperatuur boven 25 graden voor alle dagen in de zomer.

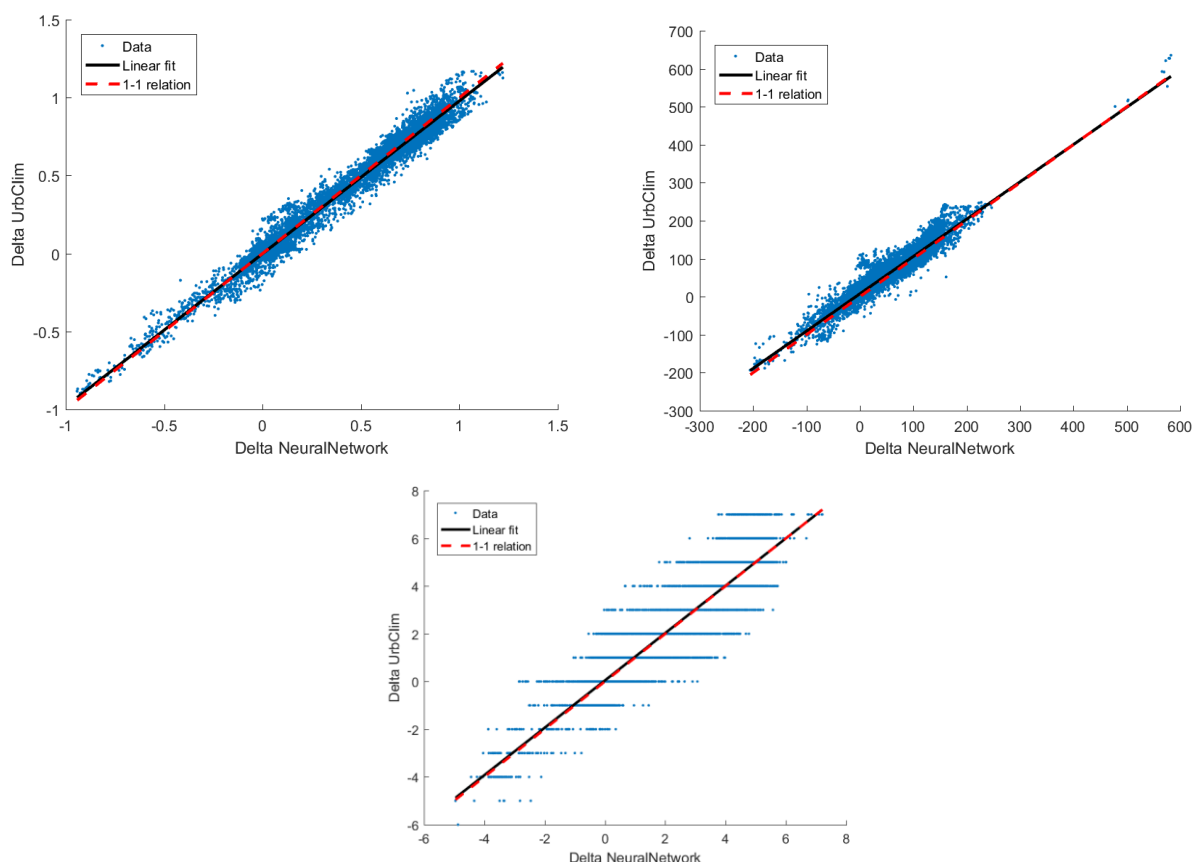
⁵ Voor andere indicatoren vinden we gelijkaardige resultaten.

de gemiddelde waarden voor de indicator geobserveerd in het referentiescenario van de UrbClim-simulaties), besluiten we dat er geen grootschalige afwijkingen zijn en dat de statistische methode er in slaagt om de belangrijkste landsgebruikveranderingen correct te modelleren. Deze stellingen worden ook verder bevestigd door de correlatiecoëfficiënt en de coëfficiënt van de lineaire regressie. Enkel voor het aantal hittegolfdagen vinden we een iets grotere afwijking tussen beide methodes, maar hier is de onzekerheid sowieso groter aangezien men gebruik maakt van een drempelwaarde, waarvoor modelresultaten erg gevoelig zijn. Op basis van deze analyse kunnen we dus besluiten dat het gebruik van de statistische methode zeker gewettigd is.

Tabel 10: Validatiestatistieken van de statistische methode voor landgebruikveranderingen.

Indicator	RMSE	bias	R ²	Coefficient Lineaire Regressie
Gemiddelde temperatuur	0.3 K	0.03 K	0.98	0.97
Cooling degree days	11.0 K	-6.0 K	0.91	0.96
Hittegolfdagen KMI	0.42	-0.04	0.87	0.99

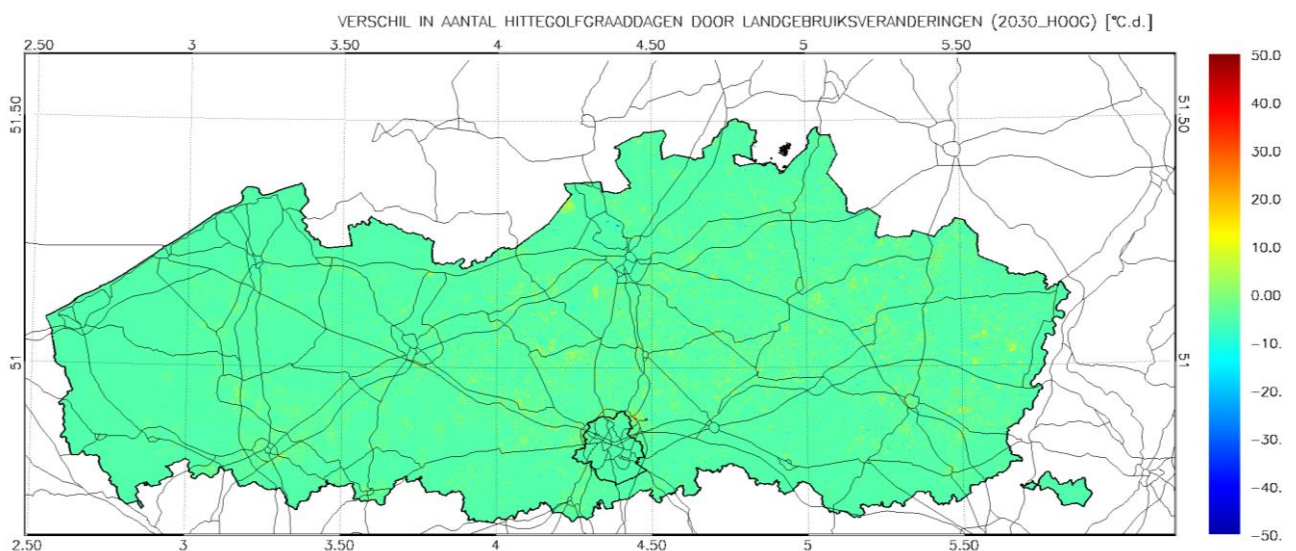
Figuur 89: Scatterplots van de validatie van de statistische methode. De figuren tonen de verandering van de indicator met de UrbClim simulatie als functie van de verandering met de statistische methode voor de gemiddelde temperatuur (linksboven), de CDD (rechtsboven) en het aantal hittegolfdagen volgens de KMI definitie (onder).



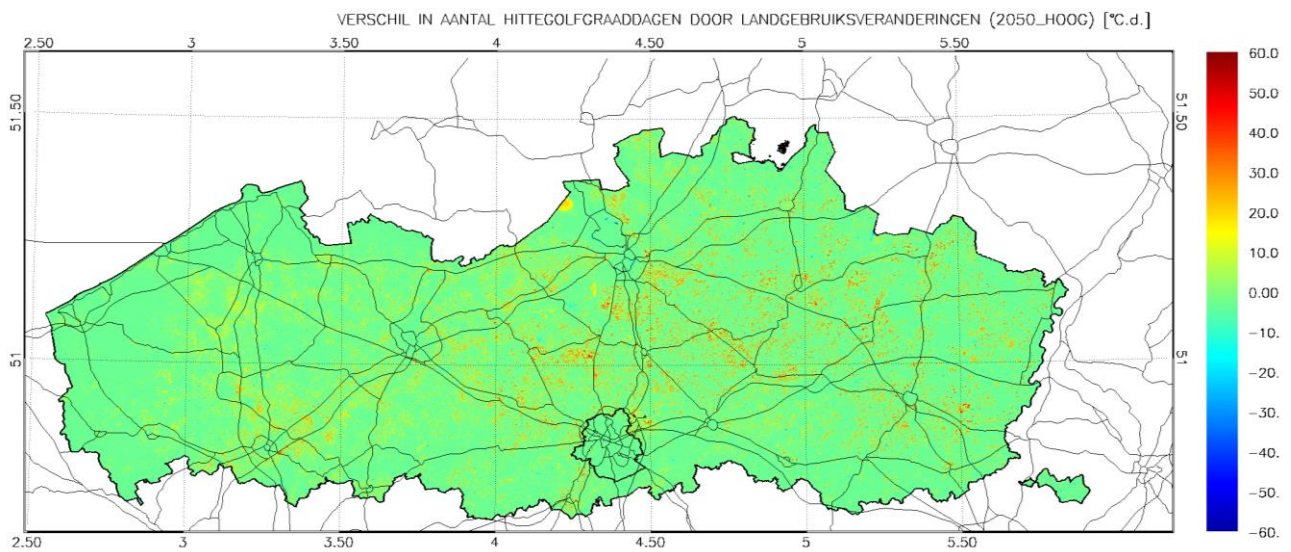
Ter illustratie van de impact van de landgebruiksveranderingen op de indicatoren, tonen Figuur 90, Figuur 91 en Figuur 92 het verschil in aantal hittegolfgraaddagen tussen de kaart die enkel de klimaatverandering in rekening brengt en de kaart die beide combineert voor respectievelijk de jaren 2030, 2050 en 2100 in het 'hoog' klimaatscenario. De verschillen zijn niet altijd even goed zichtbaar, maar doen zich voornamelijk voor op de locaties die van landgebruik veranderen. Omliggende gridcellen ondervinden ook lichte opwarming of afkoeling, en dit effect is groter naarmate het veranderde gebied groter is, al blijft het slechts een fractie van het lokale effect. Dit is in overeenstemming met eerdere resultaten met een volledige modellering (bv. Lauwaet et al., 2013).

Verder zien we dat de impact van de veranderingen groter wordt naarmate de klimaatverandering toeneemt (dezelfde landgebruiksveranderingen hebben een veel groter effect in 2100 dan in 2050), maar dat het relatieve effect van de landgebruiksveranderingen t.o.v. de klimaatverandering kleiner wordt. Waar in 2030 de effecten van de landgebruiksveranderingen (zowel positief als negatief) nog van ongeveer dezelfde grootte-orde zijn als de klimaatverandering (zie Figuur 85), is dit niet meer waar in 2050, en al zeker niet in 2100. Hieruit kunnen we leren dat het aanpassen van warme locaties (bv. stadcentra) met bv. extra groen het effect van de klimaatverandering (volgens het 'hoog' scenario) kan counteren tot 2030, maar dat dit daarna niet meer volstaat om de opwarming tegen te gaan.

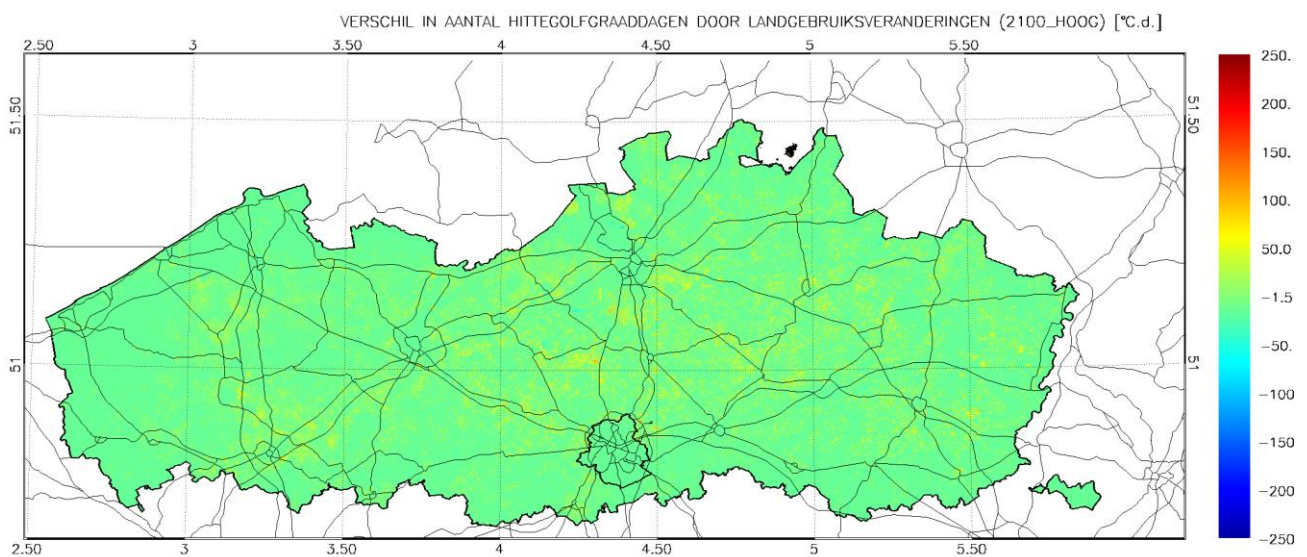
Figuur 90: Het effect van de landgebruiksveranderingen op het aantal hittegolfgraaddagen in Vlaanderen en Brussel in 2030.



Figuur 91: Het effect van de landgebruiksveranderingen op het aantal hittegolfgraaddagen in Vlaanderen en Brussel in 2050.



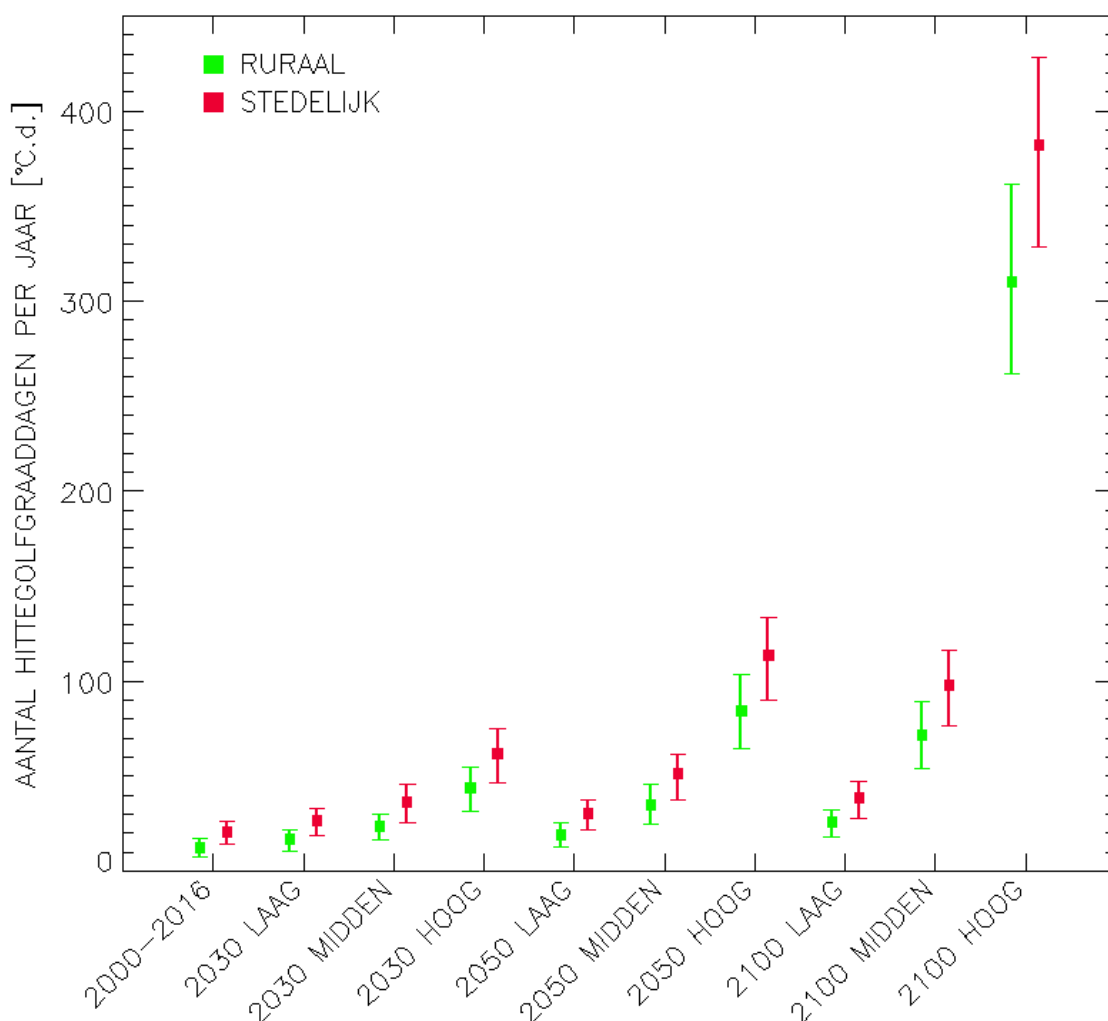
Figuur 92: Het effect van de landgebruiksveranderingen op het aantal hittegolfgraaddagen in Vlaanderen en Brussel in 2100.



2.5.2 Finale resultaten

Het resultaat van deze studie is een hele resem aan kaartmateriaal, waarvan een overzicht wordt gegeven in de conclusie. Om de resultaten een beetje bevattelijk te bundelen hebben we gelijkaardige overzichtsfiguren gemaakt als deze die in het MIRA Klimaatrapport (Brouwers et al., 2015) staan. Voor de statistieken zijn enkel gridcellen gelegen in het Vlaamse Gewest meegenomen, op de kaarten worden ook de resultaten voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest weergegeven. Zo toont Figuur 93 de evolutie van het aantal hittegolfgraaddagen voor de verschillende klimaatscenarios (in combinatie met de landgebruikveranderingen), waarbij er een onderscheid is gemaakt tussen stedelijke en rurale gebieden. Stedelijke gebieden worden gedefinieerd als alle gridcellen met een verstedelijkte landgebruiksklasse uit het Ruimtemodel Vlaanderen (=Residentieel, Lichte industrie, Zware industrie, Afval en waterwinning, Mijnbouw, Energie, Groothandel, Detailhandel, Kantoren, Overige diensten, Overig industrie/residentieel, Zeehaven en Infrastructuur). Rurale gebieden omvatten alle overige landgebruiksklassen, met uitzondering van water. Tabel 11 geeft een overzicht van de data die achter deze figuur zit.

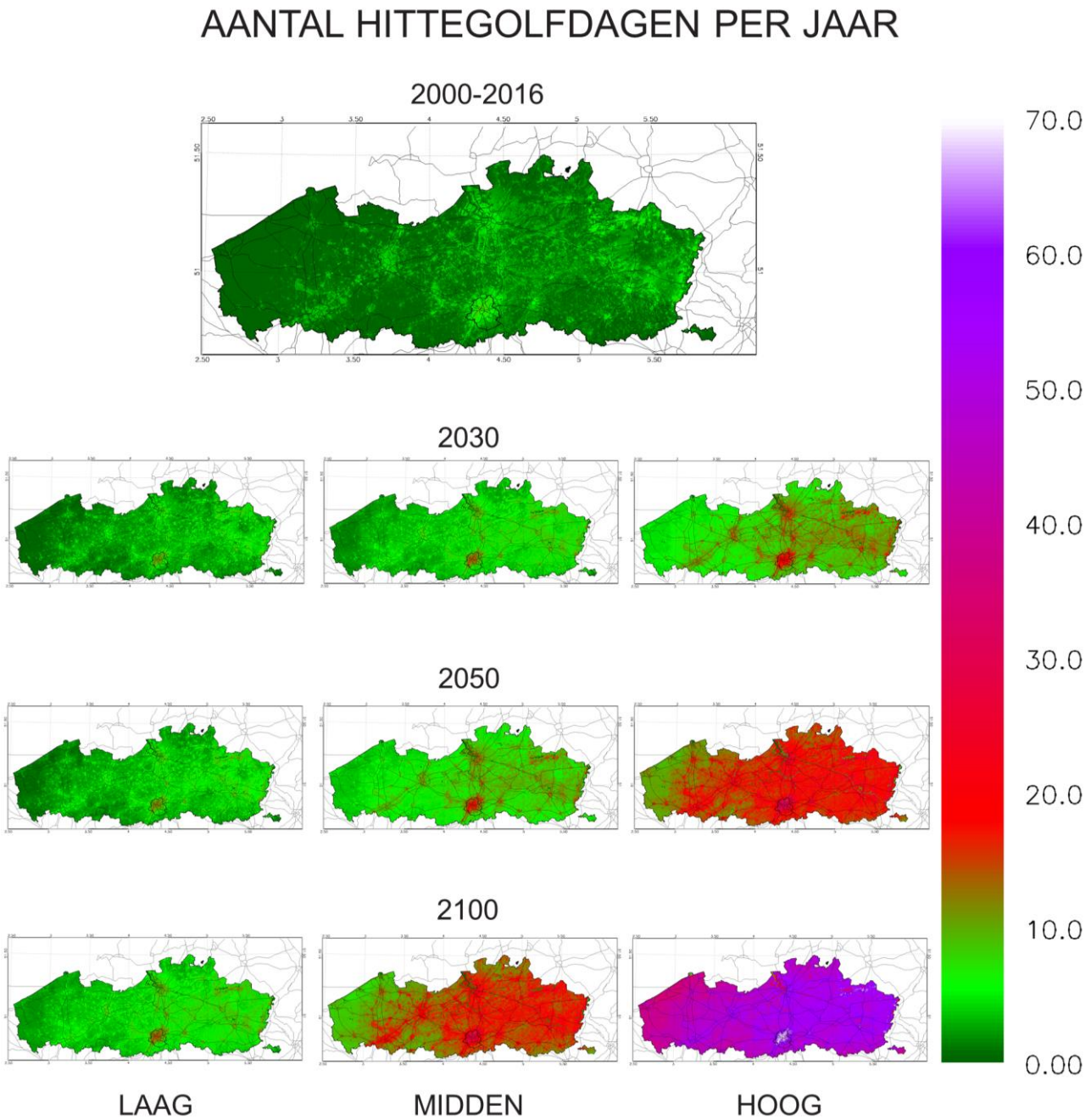
Figuur 93: Evolutie van het aantal hittegolfgraaddagen per jaar in rurale en stedelijke gebieden volgens de combinatie van de klimaatscenarios en landgebruikveranderingen. De horizontale streepjes komen overeen met de 16^{de} en 84^{ste} percentielwaarde.



AANTAL HITTEGOLFGRAADDAGEN PER JAAR



Figuur 95: Evolutie van het aantal hittegolfdagen per jaar in Vlaanderen en Brussel voor alle klimaatscenario's in combinatie met de landgebruiksveranderingen.



Tabel 12: Overzicht van het minimum, gemiddeld en maximum aantal hittegolfgraaddagen in Vlaanderen (in °C.d.) voor alle scenario's van deze studie.

Tabel 13: Overzicht van het minimum, gemiddeld en maximum aantal hittegolfdagen in Vlaanderen voor alle scenarios van deze studie.

3 CONCLUSIES

Deze studie bouwt voort op een eerdere MIRA studie (De Ridder et al., 2015a), en had als doel om (1) de temperatuurmetingen die als basis dienen voor de berekening van de stedelijke en rurale hittegolfgaaddagen uit breiden van één stad (Antwerpen) naar vijf bijkomende steden (Brugge, Brussel, Gent, Hasselt, en Lier); en (2) de resolutie voor modellering en het in kaart brengen van het aantal hittegolfgaaddagen in Vlaanderen te verfijnen van 1 km naar 100 m.

In het eerste deel van de studie werden de temperatuurmetingen voor de zomers van 2016 en 2017 omgerekend naar het aantal hittegolfgraaddagen. Voor 2016 waren er enkel volledige data beschikbaar voor Antwerpen en Gent, en de resultaten voor deze steden toonden een relatief hoog aantal hittegolfgraaddagen in de stedelijke meetposten, met waarden van 38 en 31 hittegolfgraaddagen in Antwerpen en Gent, respectievelijk. De rurale meetstations van beide steden gaven daarentegen nul hittegolfgraaddagen te zien. De metingen in de Plantentuin in Gent leverden een waarde op van 15 hittegolfgraaddagen, ongeveer de helft van de waarde in de Gentse binnenstad.

In 2017 waren er wel meetdata beschikbaar voor alle zes de steden. Het daaruit berekende aantal hittegolfgraaddagen gaf een consistent beeld, met in het algemeen een eerder lage waarde voor alle locaties, met de hoogste waarde van 27 hittegolfgraaddagen in Brussel. Verder was er een duidelijk effect van de stadsgrootte op het aantal hittegolfgraaddagen, behalve voor Brugge, wat verklaard wordt door de nabijheid van de Kust. Net zoals in 2016 overschreed de temperatuur in geen van de rurale stations de drempelwaarde voor een hittegolf.

In het tweede deel van de studie werden kaarten aangemaakt met het aantal hittegolfgraaddagen voor de periode 2000-2016, op basis van simulaties uitgevoerd met VITO's UrbClim model. Deze kaarten dienen enerzijds als referentie ('huidige situatie') om toekomstprojecties mee te vergelijken. Ze tonen duidelijk het stedelijk effect op hittestress, met gemiddeld 13 hittegolfgraaddagen in rurale gebieden, tegenover een waarde van 21 in steden. De warme zomers van 2003 en 2006 springen eruit, met bijvoorbeeld een waarde van 60 hittegolfgraaddagen voor de Antwerpse binnenstad in 2003. De kaarten bevestigen ook de waargenomen regionale verschillen in hittestress tussen de kuststreek en Limburg. De gesimuleerde kaarten werden verder gebruikt in een validatie-oefening, en een analyse van de verschillen tussen gesimuleerde en waargenomen klimaatgegevens bevestigden daarbij de betrouwbaarheid en de relevantie van het geproduceerde kaartmateriaal. Naast kaarten met het aantal hittegolfgraaddagen werden kaarten geproduceerd voor andere klimaatvariabelen (zie Tabel 14 voor details).

Tabel 14: Overzicht van alle geproduceerde kaarten voor dit project, opgesplitst naar beschouwde indicatoren, zichtjaren en scenario's. Het kaartmateriaal toont telkens het gemiddelde over alle zomerperiodes van de beschouwde tijdvensters. De combinaties van velden met gekleurde achtergrond zullen opgenomen worden in de eerste versie van het Klimaatportaal Vlaanderen dat VMM in 2018 lanceert. De overige kaarten kunnen rechtstreeks opgevraagd worden bij VMM-MIRA.

Indicatoren	Zichtjaren	Scenario's klimaatverandering			Scenario's met wijzigend landgebruik en klimaatverandering		
Aantal hittegolfgraaddagen	Referentie (2000 – 2016)	Laag	Midden	Hoog	Laag	Midden	Hoog
Aantal hittegolfdagen	2020 (2015 – 2024)						
Intensiteit hittegolfdagen	2030 (2025 - 2034)						
Aantal hittegolven (KMI def.)	2050 (2045 – 2054)						
Lengte hittegolven (KMI def.)	2100 (2091 – 2100)						
Intensiteit hittegolven (KMI def.)							
Gewicht hittegolven (KMIdéf)							
Aantal dagen met Tmax ≥ 25 °C							
Aantal dagen met Tmax ≥ 30 °C							
Aantal dagen met Tgem ≥ 25 °C							
Maandgem. temp. april							
Maandgem. temp. mei							
Maandgem. temp. juni							
Maandgem. temp. juli							
Maandgem. temp. augustus							
Maandgem. temp. september							
Gem. zomertemp. (JJA)							

In een volgende stap werden kaarten aangemaakt met toekomstprojecties van het gemiddeld aantal hittegolfgraaddagen per jaar, evenals voor de andere variabelen van Tabel 14. Bij een laag klimaatscenario verhoogt het aantal hittegolfgraaddagen in rurale gebieden tegen het einde van de eeuw van 13 naar 26, en de stedelijke waarde gaat van 21 naar 39; in beide gevallen is er dus sprake van ongeveer een verdubbeling. Het hoog klimaatscenario daarentegen toont een stijging tot 311 hittegolfgraaddagen in rurale en 383 in stedelijke gebieden, of een toename met bijna een factor 20. Als we naast de globale klimaatverandering ook rekening houden met de verwachte groei aan bebouwde oppervlakte in Vlaanderen, is de impact nog groter. Die bijkomende impact door extra bebouwing is echter eerder lokaal, dus hoofdzakelijk beperkt tot enkel die plaatsen waar men ook effectief bijkomende bebouwing verwacht. Verder neemt de relatieve bijdrage van

[illegible]

de verstedelijking aan de stijging van de hittegolfgraaddagen (ten opzichte van de bijdrage van enkel de klimaatverandering) af met toenemende klimaatverandering.

Het aanpassen van warme locaties, zoals stadscentra, met extra groen zal dus op lange termijn het effect van de klimaatverandering op bijkomende hittestress – althans in het hoog scenario – onvoldoende kunnen milderen. We merken hierbij wel op dat de gekozen indicator – de hittegolfgaaddagen – niet alle aspecten beschouwt die van tel zijn voor het thermisch comfort dat door de bevolking ervaren wordt. Hittegolfgaaddagen zijn namelijk enkel gebaseerd op de temperatuur van de buitenlucht, en het is bekend dat andere klimatologische parameters zoals wind, vochtigheid en blootstelling aan zonnestraling ook een rol spelen bij het fysiologisch ervaren van hittestress. Niettemin geeft de benadering op basis van hittegolfgaaddagen een goede, eerste inschatting van de mate waarin hittestress in de toekomst kan toenemen.

4 REFERENCES

- Brissson E., Van Weverberg K., Demuzere M., Devis A., Saeed S., Stengel M., van Lipzig N. P. M., 2016. How well can a convection-permitting climate model reproduce decadal statistics of precipitation, temperature and cloud characteristics ability. *Environmental Research Letters* 9 (11),114,024, doi:10.1088/1748-9326/9/11/114024.
- Brits, E., K. Simons, J. Rebolledo, en A. Van Nieuwenhuyse, 2010. Hittegolven, zomer- en wintersmog. Wetenschappelijk instituut volksgezondheid.
- Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste Th., Craninx M., Maetens W., Defloot W., Cauwenberghs K. (2015) MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst, Belgium, 147 p.
- De Ridder K., Maiheu B., Wouters H., van Lipzig N. 2015a. Indicatoren van het stedelijk hitte-eiland in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2015/05, VITO en KU Leuven.
- De Ridder K., Lauwaet D. and Maiheu B. 2015b. UrbClim - a fast urban boundary layer climate model. *Urban Climate*, 12, 21-48.
- Dimitrova R., Silver Z., Zsedrovits T., Hocut C.M., Leo L.S., Di Sabatino S., Fernando H.J.S., 2016. Assessment of Planetary Boundary-Layer Schemes in the Weather Research and Forecasting Mesoscale Model Using MATERHORN Field Data. *Boundary-Layer Meteorology* 159 (3), 589-609, doi:10.1007/s10546-015-0095-8.
- Erell, E., Williamson, T., 2006. Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meteorological station. *Int. J. Climatol.* 26, 1671-1694.
- Forzieri G., A. Cescatti, F. Batista e Silva, and L. Feyen, 2017. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet. Health*, 1: e200-08.
- Gabriel K.M.A., Endlicher W.R., 2011. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution* 159, 2044-2050.
- García-Díez M., Lauwaet D., Hooyberghs H., Ballester J., De Ridder K., Rodó X., 2016. Advantages of using a fast urban boundary layer model as compared to a full mesoscale model to simulate the urban heat island of Barcelona. *Geoscientific Model Development* 9, 4439-4450.
- Garratt, J.R., 1992. The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press, 316 pp.
- Hooyberghs H, Lauwaet D, Lefebvre W, Maiheu B, De Ridder Koen, González-Aparicio I, Acero JA, Mendizabal M (2015) RAMSES project report D4.2: Agglomeration-scale urban climate and air quality projections.
- Hamdi, R., Van de Vyver, H., De Troch, R., Termonia, P., 2013. Assessment of three dynamical urban climate downscaling methods: Brussels's future urban heat island under an A1B emission scenario. *Int. J. Climatol.* <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3734>.
- Jacob D., Barring L., Christensen O.B., Christensen J.H., de Castro M., Déqué M., Giorgi F., Hagemann S., Hirschi M., Jones R., Kjellström E., Lenderink G., Rockel B., Sánchez E., Schär C., Seneviratne S.I., Somot A., van Ulden A., van den Hurk B., 2007. An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change* 81 (S1), 31-52, doi:10.1007/s10584-006-9213-4.
- Lauwaet, D., B. Maiheu, J. Aertssens, K. De Ridder, 2013. Opmaak van een hittekaart en analyse van het stedelijk hitte-eiland effect voor Antwerpen. VITO rapport 2013/RMA/R/352.

bijlage 1 Geografische locaties van de meetposten

Tabel 15. Overzicht van de inzetbare stations (vetgedrukt), de beheerder, en de geografische coördinaten van elk. De namen van de stedelijke stations zijn in het rood, die van de rurale in het blauw, en de stedelijke parklocatie in Gent is in het groen weergegeven. De 'back-up' stations (Borgerhout-VMM, Stabroek-KMI) staan in italic.

stad	station	beheerder	latitude (°)	longitude (°)
Antwerpen	Borgerhout	VITO	51.209	4.432
	<i>Borgerhout</i>	VMM	51.209	4.432
	Vremde	VITO	51.166	4.549
	<i>Stabroek</i>	KMI	51.325	4.364
Brugge	Verversdijk	VITO/Koenders	51.210	3.231
	Moerkerke	VMM-Lucht	51.255	3.363
Brussel	Molenbeek	Leefmilieu Bxl	50.850	4.334
	Molenbeek	VITO	50.850	4.334
	Steenokkerzeel	Belgocontrol	50.896	4.527
Gent	Provinciehuis	UGent	51.051	3.728
	Plantentuin	UGent	51.036	3.722
	Melle	UGent	50.980	3.816
Hasselt	Techn. Dienst	VITO/Koenders	50.931	5.334
	Diepenbeek	KMI	50.915	5.450
Lier	CC Vredeberg	VITO/Koenders	51.132	4.573
	Vremde	VITO	51.166	4.549
	<i>Stabroek</i>	KMI	51.325	4.364

Op de hierna volgende pagina's tonen we voor elk van de zes steden telkens (1) een overzichtsfoto met de locaties van de stedelijke en rurale meetstations, en (2) een close-up luchtfoto voor elk van de stations.

Antwerpen

[illegible]

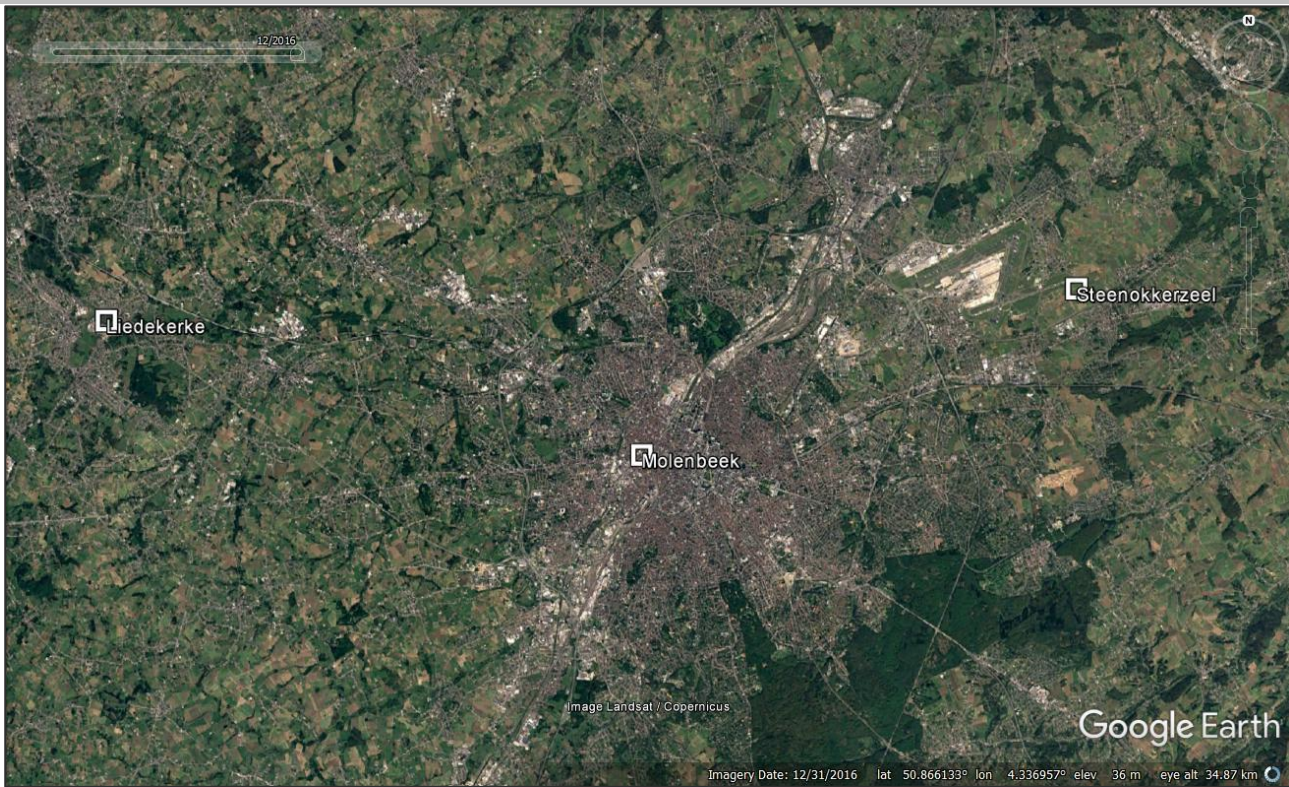
Brugge



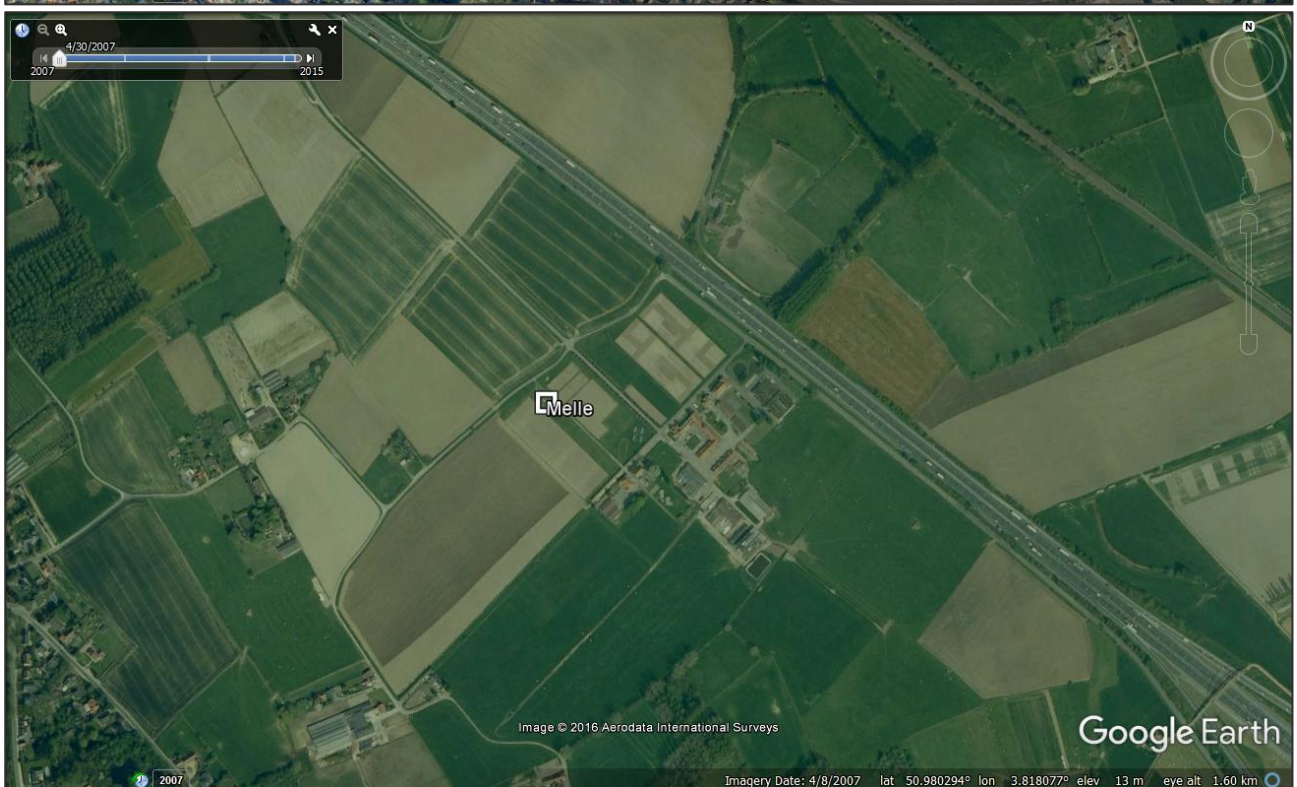


////////////////////////////////////

Brussel

[illegible]

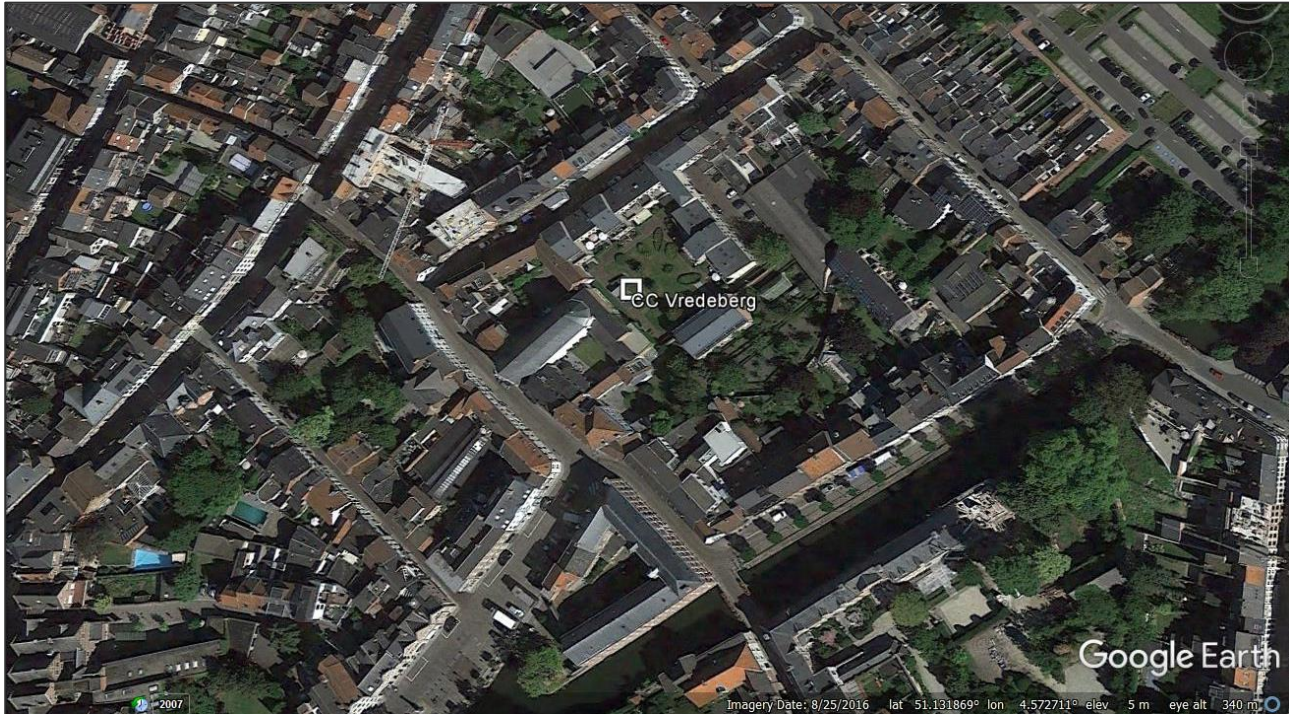
[illegible]



Hasselt

[illegible]





(Wat betreft de rurale achtergrondstations voor Lier – Vremde en/of Stabroek – zie hierboven, bij de beschrijving van de stations voor Antwerpen.)

Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect

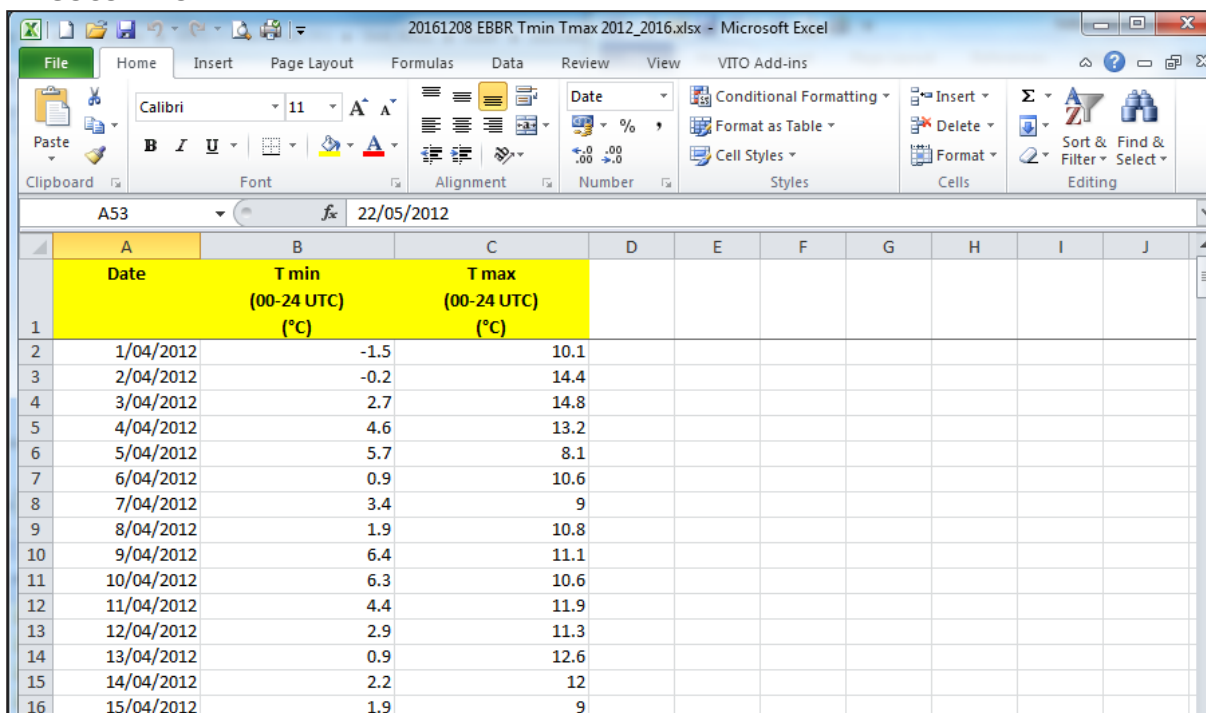
bijlage 2 Technische karakteristieken, per station

beheerder	karakteristieken
Belgocontrol Steenokkerzeel (Brussel)	Pt100 temperatuursensor van Mierij Meteo, in een passief geventileerd stralingsschild RS 303A. Op basis van gearcheverde 1-min waarden wordt door Belgocontrol de berekening gemaakt van dagelijkse Tmin/Tmax. Vanaf 2017 worden 1-minuutsdata op het uur aangeleverd. Bron: clim_data@belgocontrol.be , Quentin Budo@belgocontrol.be
Leefmilieu Brussel Molenbeek (Brussel)	geventileerde (?) meting op 3 m hoogte, gearcheverd als half-uurlijkse waarden vanaf het najaar 2017 wordt een nieuwe sensor geïnstalleerd, met actieve ventilatie obrasseur@environnement.brussels vschoemann@environnement.brussels
KMI Stabroek (Antwerpen) Diepenbeek (Hasselt)	Pt100 temperatuursensor in een actief geventileerde behuizing in een Stevenson weerhut, meethoogte 2 m. Data-archivatie op 10-min basis, KMI berekent daaruit dagwaarden van Tmin en Tmax. Bron: AWS_PT100_NL_2011-11-17.doc; emails van luis.gonzalez@meteo.be (technisch) rosiane.verheyden@meteo.be (aankoop data)
UGent Provinciehuis (Gent) Plantentuin (Gent) Melle (Gent)	Pt100 in actief geventileerd hutje, meethoogte 2 m. Data worden gearcheverd op minuutsbasis. Bron: www.mocca.ugent.be en steven.caluwaerts@ugent.be .
VITO Borgerhout (Antwerpen) Vremde (Antwerpen)	Campbell Scientific Pt1000 temperatuursensor in een actief geventileerd stralingsschild, metingen om de 15 minuten, meethoogte 2 m. Bron: De Ridder et al. (2015a) bino.maiheu@vito.be
VITO/Koenders Verversdijk (Brugge) CC Vredeberg (Lier) Techn. Dienst (Hasselt)	Campbell Scientific Pt1000 temperatuursensor in een actief geventileerd stralingsschild, meethoogte 2 m, 1-min waarden. Bron: offerte van de firma Koenders (contact Robert.vanderVeen@koenders-instruments.com).
VITO Molenbeek	Tijdelijke opstelling 10-min waarden geventileerde HOB0 sensor bino.maiheu@vito.be
VMM-Lucht Moerkerke (Brugge)	Lufft weerstation type WS300-UMB, actief geventileerde behuizing, metingen gearcheverd op 30-minuutsbasis (30-min gemiddelde van instantane 1-min waarden), meethoogte 3 m. Bron: De Ridder et al. (2015) (bijvoegsel januari 2015 ivm de FIDAS meetstations), en c.vangorp@vmm.be .

bijlage 3 Overzicht van de aangeleverde dataformaten

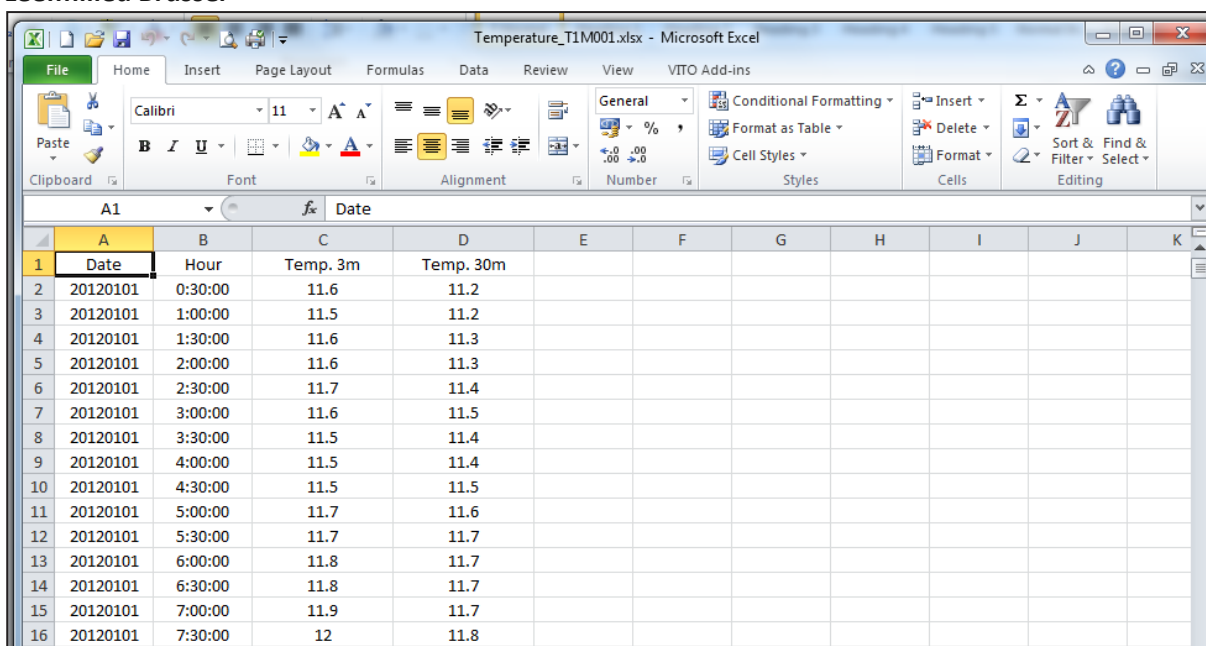
In de volgende pagina's worden, ter illustratie, voorbeelden getoond van de aangeleverde data formaten, per stationsbeheerder.

BELGOCONTROL



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Date	T min (00-24 UTC) (°C)	T max (00-24 UTC) (°C)							
1										
2	1/04/2012	-1.5	10.1							
3	2/04/2012	-0.2	14.4							
4	3/04/2012	2.7	14.8							
5	4/04/2012	4.6	13.2							
6	5/04/2012	5.7	8.1							
7	6/04/2012	0.9	10.6							
8	7/04/2012	3.4	9							
9	8/04/2012	1.9	10.8							
10	9/04/2012	6.4	11.1							
11	10/04/2012	6.3	10.6							
12	11/04/2012	4.4	11.9							
13	12/04/2012	2.9	11.3							
14	13/04/2012	0.9	12.6							
15	14/04/2012	2.2	12							
16	15/04/2012	1.9	9							

Leefmilieu Brussel



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Date	Hour	Temp. 3m	Temp. 30m							
1											
2	20120101	0:30:00	11.6	11.2							
3	20120101	1:00:00	11.5	11.2							
4	20120101	1:30:00	11.6	11.3							
5	20120101	2:00:00	11.6	11.3							
6	20120101	2:30:00	11.7	11.4							
7	20120101	3:00:00	11.6	11.5							
8	20120101	3:30:00	11.5	11.4							
9	20120101	4:00:00	11.5	11.4							
10	20120101	4:30:00	11.5	11.5							
11	20120101	5:00:00	11.7	11.6							
12	20120101	5:30:00	11.7	11.7							
13	20120101	6:00:00	11.8	11.7							
14	20120101	6:30:00	11.8	11.7							
15	20120101	7:00:00	11.9	11.7							
16	20120101	7:30:00	12	11.8							

KMI

YEAR	MONTH	DAY	STATION	STATION	TMIN(°C)	TMAX(°C)
2016	7	1	6477	DIEPENBE	16,9	21,5
2016	7	2	6477	DIEPENBE	12,2	18,8
2016	7	3	6477	DIEPENBE	11,8	19,5
2016	7	4	6477	DIEPENBE	11,6	22,6
2016	7	5	6477	DIEPENBE	11,6	21,7
2016	7	6	6477	DIEPENBE	11,2	22
2016	7	7	6477	DIEPENBE	10,2	23,6
2016	7	8	6477	DIEPENBE	15	25
2016	7	9	6477	DIEPENBE	15,4	25,4
2016	7	10	6477	DIEPENBE	17,4	29,9
2016	7	11	6477	DIEPENBE	17,4	23,5
2016	7	12	6477	DIEPENBE	12,8	22
2016	7	13	6477	DIEPENBE	9,8	19,9
2016	7	14	6477	DIEPENBE	10,3	19
2016	7	15	6477	DIEPENBE	8,1	22,5
2016	7	16	6477	DIEPENBE	14,2	24,2
2016	7	17	6477	DIEPENBE	16,3	25,3
2016	7	18	6477	DIEPENBE	14,1	28,9

KOENDERS/VITO

Timestamp	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4
"2016-08-23 14:10:00"	1343	28.09071	131.3	
"2016-08-23 14:11:00"	1344	28.40159	131.3	
"2016-08-23 14:12:00"	1345	28.52642	131.2	
"2016-08-23 14:13:00"	1346	28.2046	131.3	
"2016-08-23 14:14:00"	1347	28.18439	131.1	
"2016-08-23 14:15:00"	1348	28.40921	131.2	
"2016-08-23 14:16:00"	1349	28.61123	131.3	
"2016-08-23 14:17:00"	1350	28.45172	131.3	
"2016-08-23 14:18:00"	1351	28.49785	131.3	
"2016-08-23 14:19:00"	1352	28.55107	131.1	
"2016-08-23 14:20:00"	1353	28.68353	131.4	
"2016-08-23 14:21:00"	1354	28.67646	131.2	
"2016-08-23 14:22:00"	1355	28.62748	131.2	
"2016-08-23 14:23:00"	1356	28.69597	131.5	
"2016-08-23 14:24:00"	1357	28.5685	131.5	
"2016-08-23 14:25:00"	1358	28.66192	131.5	
"2016-08-23 14:26:00"	1359	28.721	131.6	
"2016-08-23 14:27:00"	1360	28.93464	131.6	
"2016-08-23 14:28:00"	1361	28.88787	131.4	
"2016-08-23 14:29:00"	1362	28.72486	131.3	
"2016-08-23 14:30:00"	1363	28.71339	131.3	

20160701_bas.dat - WordPad

File Edit Format View Tools Window Help

Cut Copy Paste Bold Italic Underline Font Color Paragraph Styles Picture Drawing Date and Time Insert Find Replace Select all

Clipboard Font Paragraph Insert Editing

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

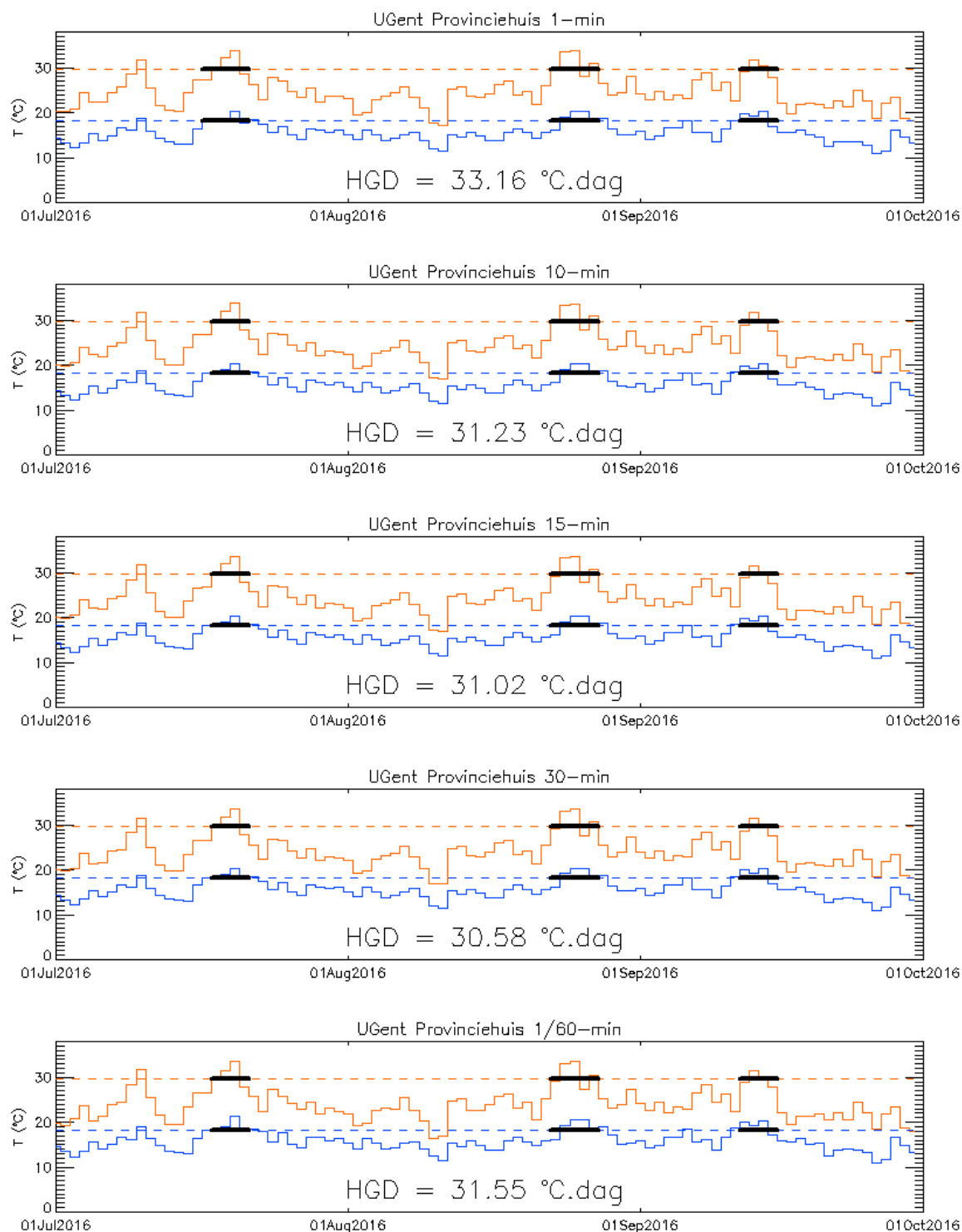
2016-07-01 00:00:00",51487,17.3,17.51,83.1,1.2,0.451,200.6,68.04,0,99.9,13.57
 "2016-07-01 00:01:00",51488,17.28,17.5,83.1,0.86,0.444,175.9,41.13,0,100,13.56
 "2016-07-01 00:02:00",51489,17.29,17.5,83.2,0.78,0.348,261.4,55.4,0,100,13.57
 "2016-07-01 00:03:00",51490,17.25,17.5,83.3,0.62,0.314,220.6,81,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:04:00",51491,17.27,17.51,83.1,0.64,0.293,186.4,67.65,0,100,13.58
 "2016-07-01 00:05:00",51492,17.27,17.5,83.1,1.94,0.617,2.121,30.89,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:06:00",51493,17.25,17.5,83.2,1.18,0.563,221.4,36.86,0,100,13.58
 "2016-07-01 00:07:00",51494,17.25,17.49,83.3,1.9,0.59,148.4,76.88,0,100,13.57
 "2016-07-01 00:08:00",51495,17.25,17.48,83.2,0.8,0.371,348.6,53.21,0,100,13.57
 "2016-07-01 00:09:00",51496,17.28,17.49,83.3,1.01,0.463,151.52,84,0,100,13.56
 "2016-07-01 00:10:00",51497,17.28,17.49,83.4,1.61,0.748,190.8,35.96,0,100,13.59
 "2016-07-01 00:11:00",51498,17.28,17.49,83.6,0.62,0.319,303.9,84.8,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:12:00",51499,17.26,17.49,83.5,1.09,0.466,202.20,93,0,100,13.59
 "2016-07-01 00:13:00",51500,17.26,17.49,83.3,1.26,0.572,209.6,36.72,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:14:00",51501,17.26,17.49,83.5,0.55,0.195,339.2,76.4,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:15:00",51502,17.27,17.49,83.5,1.03,0.478,225.6,65.78,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:16:00",51503,17.27,17.49,83.6,0.6,0.243,315.2,77.1,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:17:00",51504,17.27,17.49,83.7,1.31,0.5,1.834,72.1,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:18:00",51505,17.25,17.48,83.6,1.1,0.55,228.8,65.26,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:19:00",51506,17.25,17.48,83.8,1.08,0.373,119.7,79.82,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:20:00",51507,17.27,17.48,83.8,0.59,0.26,194.2,84.5,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:21:00",51508,17.28,17.48,84,0.89,0.417,89.8,73.77,0,99.9,13.59
 "2016-07-01 00:22:00",51509,17.29,17.49,83.9,1.07,0.64,160.8,24.63,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:23:00",51510,17.25,17.49,84,0.76,0.302,167.6,36.75,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:24:00",51511,17.26,17.47,84.1,1.32,0.52,196.6,30.54,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:25:00",51512,17.25,17.48,84.1,0.84,0.354,178.8,77.84,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:26:00",51513,17.26,17.48,84.2,1.35,0.346,243.1,81.4,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:27:00",51514,17.25,17.48,84.2,1.19,0.481,182.3,65.89,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:28:00",51515,17.25,17.48,84.3,1.34,0.486,181.8,39.62,0,100,13.6
 "2016-07-01 00:29:00",51516,17.23,17.46,84.3,0.64,0.315,199.1,46.12,0,100,13.61
 "2016-07-01 00:30:00",51517,17.22,17.46,84.4,0.65,0.256,201.3,52.78,0,100,13.59
 "2016-07-01 00:31:00",51518,17.22,17.45,84.5,0.64,0.275,188.4,70.1,0,100,13.6

[illegible]

131

[illegible]

132



Figuur 96. Tijdsreeks van T_{min} (blauw) en T_{max} (rood) voor station Provinciehuis (UGent) voor de periode juli-september 2016, met telkens de HGD waarde er bij vermeld. Bovenaan bevindt zich het resultaat gebaseerd op de oorspronkelijke 1-min meetgegevens, en vervolgens worden, naar beneden toe, de resultaten getoond die afgeleid zijn uit tijdsreeksen verkregen door de 1-min waarden uit te middelen naar 10, 15, en 30 minuten. De onderste grafiek toont resultaten bekomen door 1-minuutswaarden op het uur te nemen.

Tabel 17. HGD indicatorwaarden (in °C.d) voor elk van de UGent meetstations, bekomen uit de oorspronkelijke 1-min temperatuurdatabank (HGD01), en uit tijdsreeksen van temperatuur ontstaan door de 1-min tijdsreeksen met een glijdend gemiddelde te behandelen, over intervallen van 10 (HGD10), 15 (HGD15) en 30 minuten (HGD30). De benaming HGD1/60 verwijst naar minuutdata om het uur.

	HGD01	HGD10	HGD15	HGD30	HGD1/60
Provinciehuis	33.16	31.23	31.02	30.58	31.55
Plantentuin	21.78	21.92	15.33	15.16	15.57
Melle	0	0	0	0	0
St Bavo	34.15	31.49	31.10	30.21	32.26
Wondelgem	11.62	15.27	15.10	14.82	15.08
Honda	33.22	31.21	30.63	30.37	31.84

Om een beter inzicht te krijgen werd een verdere analyse gemaakt, waarbij werd gekeken naar de bias van tijdsreeksen van dagelijkse T_{min} en T_{max} bij verschillende uitmiddelingperiodes, ten opzichte van de tijdsreeks bekomen met een 15-min uitmiddeling. (We beschouwen de 15-min meetfrequentie hier als referentie, omdat de metingen in De Ridder et al. (2015a) gebruik maakten van 15-min data.) De resultaten van deze berekening worden getoond in Tabel 18. Wat opvalt is dat periodes met een kortere uitmiddeling een negatieve bias vertonen in T_{min} , en een positieve bias in T_{max} . Dit is als verwacht, want door uitmiddeling in de tijd worden de temperatuursextrema afgevlakt, dus data met een langer uitmiddelingsinterval hebben lagere T_{max} en hogere T_{min} waarden. Noteer dat de magnitude van de bias en de RMSE niet al te veel uiteenlopen, wat erop wijst dat de verschillen tussen de tijdsreeksen met verschillende meetfrequentie hoofdzakelijk het gevolg zijn van systematische en niet zozeer random afwijkingen.

Tabel 18. Root mean square error (RMSE) (bovenaan) en bias (onderaan) in Tmin en Tmax van de temperatuurddata met verschillende tijdsintervallen (1, 10, 30 min) ten opzichte van de 15-min data, in °C, voor de UGent meetstations in de periode juli-september 2016. De verwijzing '1/60 min' slaat op minuutsdata om het uur. De eenheid is telkens °C.

<i>RMSE</i>	Tmin				Tmax			
	<i>1 min</i>	<i>10 min</i>	<i>30 min</i>	<i>1/60 min</i>	<i>1 min</i>	<i>10 min</i>	<i>30 min</i>	<i>1/60 min</i>
Provinciehuis	0.066	0.011	0.032	0.254	0.420	0.071	0.170	0.360
Plantentuin	0.100	0.031	0.065	0.293	0.242	0.048	0.103	0.234
Melle	0.255	0.050	0.135	0.405	0.378	0.068	0.136	0.294
St Bavo	0.058	0.014	0.031	0.240	0.365	0.057	0.121	0.274
Wondelgem	0.113	0.023	0.045	0.271	0.527	0.084	0.200	0.372
Honda	0.077	0.016	0.044	0.266	0.402	0.070	0.139	0.282
<i>BIAS</i>	Tmin				Tmax			
	<i>1 min</i>	<i>10 min</i>	<i>30 min</i>	<i>1/60 min</i>	<i>1 min</i>	<i>10 min</i>	<i>30 min</i>	<i>1/60 min</i>
Provinciehuis	-0.057	-0.008	0.024	0.159	0.377	0.057	-0.134	-0.201
Plantentuin	-0.076	-0.014	0.037	0.191	0.221	0.038	-0.089	-0.144
Melle	-0.206	-0.031	0.083	0.248	0.337	0.052	-0.111	-0.166
St Bavo	-0.042	-0.008	0.023	0.144	0.326	0.045	-0.105	-0.134
Wondelgem	-0.098	-0.013	0.033	0.178	0.465	0.062	-0.157	-0.202
Honda	-0.059	-0.011	0.035	0.154	0.373	0.055	-0.117	-0.168

[illegible]

