

Het raadsel van de verdwenen hittegolven



Tweede editie oktober 2019

Colofon

Auteurs

Frans Dijkstra
Jan Ruis
Rob de Vos
Marcel Crok

Uitgever

Wij zijn een ad hoc gevormde groep onderzoekers en brengen dit rapport op persoonlijke titel uit. Onze motivatie was om de onderste steen boven te krijgen wat betreft de temperatuurcorrecties die het KNMI had doorgevoerd in De Bilt.

Website:

Het rapport kan gedownload worden op

www.klimaatgek.nl

www.destaatvanhet-klimaat.nl

Financiering

Dit rapport is tot stand gekomen op eigen initiatief van de onderzoekers. In de zomer van 2018 hebben we via onze eigen kanalen (website en social media) een crowdfunding pagina opgezet. Dat leverde ongeveer 6500 euro op gedoneerd door 140 mensen. In een laat stadium hebben we ook enige funding ontvangen via de pas opgerichte Stichting Climate Intelligence.

Donaties

De kosten van het onderzoek en het schrijven van het rapport zijn aanzienlijk geweest. Donaties worden dan ook alsnog zeer op prijs gesteld.

Doneren kan, onder vermelding van 'Rapport Verdwenen Hittegolven', als storting op de rekening van:

M. Crok

IBAN NL66INGB0000520595

Contact

Rob de Vos: rob@klimaatgek.nl

Frans Dijkstra: fydijkstra1946@kpnmail.nl

Jan Ruis: janruis30@gmail.com

Marcel Crok: marcel.crok@gmail.com

Telefoon

Marcel Crok: (06) 16236275

Stichting Climate Intelligence

De Stichting Climate Intelligence heeft als doel het genereren van kennis over en inzicht in omvang, aard, oorzaak en gevolgen van klimaatverandering en het klimaatbeleid dat hierop betrekking heeft. Hiertoe probeert de stichting helder en transparant te communiceren naar het brede publiek wat er aan feiten beschikbaar is over klimaatverandering en klimaatbeleid en ook waar feiten overgaan in veronderstellingen, aannames en inschattingen.

Tevens voert en stimuleert de stichting een publiek debat hierover en financiert zij onderzoeksjournalistiek werk op dit terrein.



Voorwoord

Gedurende de lange droge zomer van 2018 werden Nederlanders in de media geconfronteerd met berichten over de forse toename van het aantal hittegolven in ons land sinds 1901.

Na een ‘fact check’ bleek dat die toename niet zozeer het gevolg was van klimaatverandering maar van een ‘correctie’ die het KNMI kort daarvoor had toegepast. De gemeten temperaturen tussen 1901 en 1951 van het station De Bilt waren namelijk per 1 januari 2016 fors bijgesteld. Daardoor verdwenen in één klap veel ‘oude’ hittegolven uit de statistieken.

Die correctie was uitkomst van een zogenaamde homogenisatie die het KNMI heeft toegepast op de 5 hoofdstations in ons land. Vanwege het ontbreken van parallelle meetdata in De Bilt heeft het KNMI de temperatuurreeks van Eelde (Groningen) als referentiestation voor de homogenisatie van De Bilt gebruikt.

Het KNMI heeft over de homogenisatie een technisch rapport uitgebracht (Brandsma 2016a). Het voor u liggende rapport beschrijft onze poging tot reconstructie van de homogenisatie van De Bilt zoals die in het KNMI-rapport is beschreven. Bovendien wordt uitgebreid aandacht besteed aan de vraag of de homogenisatie van De Bilt wel nodig was en of de keuze van het referentiestation Eelde de juiste is geweest.

We danken alle mensen die ons tot steun zijn geweest bij het maken van het rapport!

Maart 2019,

Frans Dijkstra

Jan Ruis

Marcel Crok

Rob de Vos

Versie 2.0 (oktober 2019)

Versie 2.0 van dit rapport was nodig omdat na de verschijning van de eerste versie belangrijke data beschikbaar gekomen zijn over de parallelmetingen in De Bilt van 1947 tot 1950. Diverse figuren werden toegevoegd en bestaande figuren verbeterd, de tekst, samenvatting en literatuurlijst werden waar nodig aangepast. Tevens zijn enige technische fouten hersteld. De wijzigingen hebben geen invloed op de conclusies van de eerste versie.

Inhoud

Colofon Auteurs	1
Samenvatting	5
1 Inleiding	9
2 Waarom homogeniseren?	15
3 Parallelmetingen op het KNMI-terrein	19
Hutwisseling	19
Locatiewisselingen in 1950 en 1951	22
Conclusies	26
4 De reconstructie van de homogenisatie van De Bilt	29
Methoden	29
Daggemiddelde temperatuur en dagelijkse minimumtemperaturen	34
Conclusies	36
5 Reconstructie van de homogenisatie op basis van de aanvullende informatie van het KNMI	37
Hoor en wederhoor	37
Driemaands gemiddelden	38
Vergelijkingsperiode 56 maanden	39
Maximale jaartemperatuur	40
Conclusies	41
6 De temperatuursprong en de correctie van het KNMI	43
Duitse stations als referentie voor de homogenisatie van De Bilt	44
Methode	44
Een nieuwe referentieset voor de homogenisatie van De Bilt	47
Vergelijking Tx De Bilt met Tx van de referentieset	51
Vergelijking Tx-zomer De Bilt met de referentieset	52
Conclusies	55
7 Effect van de keuze vergelijkingsstation op de homogenisatie	57
Werkwijze	58
Resultaten	58
Gemiddelde correctie Tx	59
Discussie	63
Conclusies	64
8 De verdwenen hittegolven	67
9 Literatuur	73
10 Appendix	75
BIJLAGE 1: Samenstelling referentieset	75
BIJLAGE 2: Detailgrafieken hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5	79
BIJLAGE 3: Vragen aan en antwoorden van KNMI	85

BIJLAGE 4: Smoothing voor dummies.....	93
----------------------------------------	----

Samenvatting

1. **Het KNMI corrigeerde in 2016 haar oude temperatuurmetingen van vóór september 1951. Het deed dat vanwege een verandering van de meethut in 1950 en een verplaatsing van het meetstation in 1951. Op de jaarlijkse gemiddelde temperatuur hadden de correcties nauwelijks invloed. Warme tot zeer warme dagen werden echter drastisch naar beneden bijgesteld, tot wel 1,9 °C bij dagen boven de 28 °C.** Als gevolg daarvan nam het aantal tropische dagen in de periode 1901-1951 in De Bilt af van 164 tot 76 en het aantal zomerse dagen van 931 tot 629. Van de 23 hittegolven die oorspronkelijk in de boeken stonden resteren er na de correcties (in jargon: de homogenisatie) nog maar 7. Als gevolg daarvan kon het KNMI in de warme zomer van 2018 claimen dat hittegolven nu veel vaker voorkomen dan een eeuw geleden.
2. **Dit rapport beschrijft onze pogingen – een viertal onafhankelijke onderzoekers - om de homogenisatie van de temperatuurmetingen in De Bilt te reproduceren. Tevens is gekeken naar de noodzaak om überhaupt te homogeniseren.** De KNMI-correcties zijn tot stand gekomen na vergelijking van De Bilt met station Eelde (nabij Groningen). We hebben eveneens onderzocht tot welke correcties vergelijking met andere stations in Nederland en/of Duitsland zouden leiden.
3. **Hittegolven worden in Nederland alleen bepaald door de metingen in De Bilt. Er is sprake van een hittegolf als het op minimaal vijf dagen 25 °C of warmer is, waarvan op minimaal drie dagen gelijk of warmer dan 30 °C. In de ongecorrigeerde metingen vinden er meer hittegolven plaats in de periode 1901 t/m augustus 1951 (23 hittegolven) dan in de periode september 1951 t/m 2018 (19 hittegolven).** Hoewel die eerste periode korter duurt dan de tweede (51 tegen 67 jaar). Na de homogenisatie is die verhouding volledig omgedraaid: 7 hittegolven tegen 19 hittegolven. Brandsma, de onderzoeker van het KNMI die de homogenisatie heeft uitgevoerd schreef in vakblad Meteorologica in 2016: “Bekende problemen zoals de neerwaartse sprong in Tx [de maximumtemperatuur, red.] rond 1950 in De Bilt en het relatief hoge aantal hittegolven in de eerste helft van de 20ste (...) zijn hiermee verleden tijd.” Blijkbaar werd het hoge aantal hittegolven vóór 1950 als ‘een probleem’ gezien.
4. **Er is een statistische reden die de homogenisatie in De Bilt verdacht maakt. Het percentage tropische dagen in de periode vóór de wijziging (1906-1951) ten opzichte van erna (1951-2016) zakt in De Bilt veel verder dan bij de overige vier hoofdstations in Nederland (De Kooy, Beek, Eelde en Vlissingen).** Na homogenisatie bedraagt dat percentage bij de overige vier hoofdstations tussen de 35 en 39% terwijl het in De Bilt zakt naar 26%. Deze verschillen zijn niet genoemd door het KNMI.
5. **Normaliter voeren onderzoekers bij de overgang naar een andere meetlocatie gedurende een periode parallelmetingen uit op zowel de oude als de nieuwe meetlocatie. Dat is bij de herlocatie op 27 augustus 1951 in De Bilt niet gebeurd. Wel zijn er van 25 maart 1947 t/m 31 augustus 1950 parallelmetingen verricht tussen de Pagodehut en een Stevensonhut. Het KNMI heeft geen gebruik gemaakt van die gegevens betreffende de hutwisseling van Pagodehut naar de nieuwe Stevensonhut in mei 1950.** De data van deze parallelmetingen zijn ons eind maart 2019 ter hand gesteld door het KNMI. Deze gegevens laten zien dat de Pagode op 65% van de gemeten dagen hogere temperaturen vertoont dan de Stevensonhut, op de resterende 35% van de dagen is de Stevensonhut warmer dan de Pagode. De verschillen in Tx tussen Pagode en Stevensonhut zijn het grootst in de maanden juni, juli en augustus: gemiddeld 0,37 °C. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen er slechts 23 met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C. De warmste dagen zijn vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkst, tot 1,9 °C, waardoor een sterke overcorrectie ontstaat. We concluderen dat de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut geen zodanige verschillen teweeg heeft gebracht dat die de sterke correctie van Tx tot 1,9 °C rechtvaardigen.

6. **Het KNMI heeft van mei 2003 tot juni 2005 parallelmetingen uitgevoerd op een viertal testlocaties in De Bilt. Doel was onder meer om de testresultaten te gebruiken bij homogenisaties.** Die metingen vonden onder andere plaats op de oorspronkelijke meetlocatie (waar gemeten werd van 16 september 1950 tot 27 augustus 1951) en de locatie waarheen de Stevensonhut op 27 augustus 1951 werd verplaatst. De maximumtemperaturen in de zomer in de periode 2003-2005 op deze twee locaties verschillen niet significant van elkaar. Dit suggereert dat de verplaatsing in 1951 waarschijnlijk nauwelijks effect gehad op Tx. Brandsma concludeert recentelijk dat de correctie op de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang Pagode-Stevenson. De locatiewisseling lijkt de grote correcties van de maximumtemperaturen tot 1,9°C dan ook zeker niet te rechtvaardigen.
7. **Vanwege het vermeende gebrek aan parallelmetingen heeft het KNMI besloten om de dagwaarden van De Bilt te homogeniseren aan de hand van station Eelde dat 147 km ten noordoosten van De Bilt ligt. Daarbij is gebruik gemaakt van een statistische techniek, de *percentile matching method*. De keuze voor Eelde is saillant. Eerder, bij het tot stand komen van de Centrale Nederlandse Temperatuur (CNT), werd namelijk geconcludeerd dat Eelde daarvoor niet geschikt was.** Het KNMI-rapport waarin de homogenisatie wordt beschreven onderbouwt niet waarom alleen station Eelde geschikt was. Een nadeel van Eelde is dat metingen daar pas in 1946 begonnen. Daardoor konden slechts vier jaar aan data vóór de breuk (1946-1949) gebruikt worden en die werden vergeleken met vier jaar na de breuk (1952-1955). Uit ons onderzoek blijkt dat de methode gevoelig is voor de lengte van de periode.
8. **De methode verdeelt voor iedere maand de metingen onder in twintig percentielen. Met ‘slechts’ vier jaar aan data komt dat neer op ongeveer zes waarden per percentiel. Dat is weinig en leidt tot veel ruis in de resultaten. Het KNMI heeft daarom aansluitend middeling over verschillende maanden en percentielen toegepast om deze ruis te onderdrukken.** Uit ons onderzoek blijkt dat de uiteindelijke temperatuurcorrectie sterk afhankelijk is van de gekozen middeling. Het KNMI heeft echter niet laten zien hoe gevoelig het eindresultaat voor deze arbitraire keuzes is.
9. **Het lukte ons niet om op basis van de procedure zoals beschreven in het technische rapport van het KNMI de homogenisatie van het KNMI te reproduceren. Met name voor de maximumtemperaturen vinden wij afwijkende resultaten.** Voor de jaargemiddelde maximumtemperaturen wijken de uitkomsten van het KNMI 0,05°C tot 0,10°C af van onze reconstructie en de fluctuaties per jaar zijn in de KNMI-homogenisatie groter dan in onze reconstructie. Met name jaren met warme zomers worden door het KNMI sterk naar beneden bijgesteld. Bijvoorbeeld voor 1947 – een jaar met oorspronkelijk vier hittegolven – komt het KNMI tot lagere maximumtemperaturen dan wij in onze reconstructie.
10. **Het KNMI heeft door de homogenisatie met alleen Eelde als vergelijkingsstation het aantal tropische dagen en hittegolven vóór 1951 sterk verminderd: van 164 tropische dagen naar 76, en van 23 naar 7 hittegolven. Bij onze reconstructie van de homogenisatie blijven er vóór 1951 afhankelijk van het vergelijkingsstation 94 tot 121 tropische dagen over en 10 tot 16 hittegolven.** Dit betekent niet dat wij deze aantallen als ‘de juiste’ beschouwen. Onze conclusie is wel dat de homogenisatie van het KNMI heeft geresulteerd in een sterke overcorrectie van de temperatuur op warme dagen.
11. **Na contact te hebben gezocht met het KNMI om de verschillen tussen hun en onze resultaten te kunnen verklaren bleek ons dat het KNMI acht maanden extra had gebruikt (de eerste acht maanden van 1950) om de beginperiode zo lang mogelijk te laten duren. En er is een extra middeling toegepast van de percentielen over drie aansluitende maanden. Aanvullend onderzoek maakte duidelijk dat de extra middeling weinig effect had maar gebruik van de extra acht maanden wel. Onze resultaten kwamen nu dichterbij die van het KNMI. Maar de grote verschillen bij de maximumtemperaturen blijven aanwezig. Wij houden na de homogenisatie aanzienlijk meer tropische dagen en hittegolven over. Wij constateren opnieuw dat de homogenisatie van het KNMI heeft geresulteerd in een sterke overcorrectie van de**

temperatuur op warme dagen. Het gebruik van de extra acht maanden is volgens ons aanvechtbaar omdat deze maanden (jan-aug) daardoor zwaarder tellen dan de overige maanden.

12. **Het feit dat schijnbaar arbitraire keuzen in de methodiek (percentielberekening, middeling, lengte van de vergelijkingsperiode) veel invloed hebben op de uitkomsten van de homogenisatie, laat zien dat deze methode niet geschikt is om dagwaarden te corrigeren met de pretentie van een nauwkeurigheid van 0,1 graad.** Dat is statistisch onverantwoord. Als je al homogeniseert met deze methode, dan zou je gehomogeniseerde dagtemperaturen tenminste moeten afronden op hele graden.
13. **Het klopt dat temperatuurmetingen in De Bilt een behoorlijke daling laten zien in de periode 1949 tot 1956. Het is verleidelijk om die afkoeling grotendeels toe te schrijven aan de verandering van de meethut en de verplaatsing. Uit ons onderzoek blijkt echter dat die afkoeling in alle stations in Nederland en ook Duitsland optreedt. Die afkoeling is dus vooral klimatologisch van aard.** Wij hebben door vergelijking met een referentieset van Nederlandse en Duitse stations wel geconcludeerd dat De Bilt inderdaad relatief iets warmer was vóór 1950 en dat enige correctie in de jaren vóór 1950 verdedigd kan worden. Wij concluderen dat de door het KNMI toegepaste correcties op de maximumtemperaturen gemiddeld van 1931-1949 wel kloppen maar in de jaren daarvóór tot overcorrectie leiden. Voor jaren met recordwarme zomers (zoals 1947) past het KNMI een overcorrectie toe van naar schatting 50%. Voor de maanden mei-september is de geschatte overcorrectie 210% en voor de drie warmste zomermaanden zelfs ruim 260% op basis van vergelijking met de referentieset.
14. **We hebben tenslotte onderzocht hoe gevoelig de homogenisatie van De Bilt is voor de keuze van het vergelijkingsstation. Dat effect blijkt groot te zijn.** Met Beek als vergelijkingsstation vinden wij voor De Bilt minder grote correcties voor de maximumtemperaturen en meer tropische dagen. Met Aachen als vergelijkingsstation vinden we voor De Bilt geen correctie voor de maximumtemperaturen en veel meer tropische dagen. Met geen enkel representatief vergelijkingsstation noch het door ons geselecteerde Duits-Nederlandse ensemble vinden wij zo weinig tropische dagen in De Bilt als bij de door het KNMI gebruikte homogenisatie aan de hand van Eelde. We concluderen dat de *percentile matching method*, zoals door het KNMI toegepast, afhankelijk is van arbitraire keuzen en daarom niet geschikt is om de klimatologische geschiedenis ingrijpend aan te passen.
15. **Het moge duidelijk zijn dat wij de homogenisatie van De Bilt zoals die is uitgevoerd met behulp van station Eelde onverdedigbaar vinden. De uitkomst is veel te afhankelijk van arbitraire keuzes wat betreft de stations waarmee je vergelijkt, de gebruikte statistische methode, de lengte van de vergelijkingsperiode en de gebruikte middeling.** Het KNMI heeft in het technische rapport over de homogenisatie bovendien nagelaten om zelf deze gevoeligheden bloot te leggen. Tevens heeft het KNMI geen enkele moeite gedaan om te laten zien dat de afkoeling in de periode 1949-1956 grotendeels klimatologisch van aard kan zijn omdat die zich bij alle homogene reeksen in Nederland en Duitsland voordoet. Dit rapport heeft laten zien dat een kleine correctie wellicht verdedigbaar is maar de homogenisatie van het KNMI heeft geleid tot flinke overcorrecties, vooral van warme dagen. Het beste zou zijn om de homogenisatie ongedaan te maken en met een breder opgezet team (waaronder wetenschappers van buiten het KNMI) een nieuwe start te maken. Het KNMI zou zich voorlopig moeten onthouden van claims over een vermeende toegenomen trend in hittegolven in Nederland.

1 Inleiding

De Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW) stelde op 15 januari 2018 voor dat het herhalen van experimenten heel gewoon moet worden (KNAW 2018). In veel vakgebieden staat onderzoek regelmatig ter discussie vanwege de toegepaste methodiek. Soms ook dikken onderzoekers hun conclusies aan om hun publicatie beter in het oog te laten springen. De beste remedie tegen foute conclusies uit zulk onderzoek is dat wetenschappers geregeld elkaars onderzoek herhalen.

We hebben het advies van de KNAW opgevolgd en in dit rapport geprobeerd de door het KNMI in 2016 uitgevoerde homogenisatie van de temperatuur op station De Bilt te reproduceren. Deze homogenisatie vond plaats wegens een verandering van de meethut in 1950 en een verplaatsing in 1951 waarvan men veronderstelde dat deze invloed zouden hebben op de meetwaarden. De temperatuurregistraties die vóór deze instrumentele veranderingen plaatsvonden zouden dan gecorrigeerd moeten worden.

Het betreft de gemiddelde temperatuur (T_g), minimumtemperatuur (T_n) en maximumtemperatuur (T_x) per etmaal over de periode van 1 januari 1901 tot 1 september 1951. De in deze periode geregistreerde temperaturen zijn door de homogenisatie in 2016 bijgesteld. In onze reproductie van die homogenisatie hebben we ons met name gericht op de dagelijkse maximumtemperaturen (T_x) in De Bilt omdat die het sterkst zijn bijgesteld, maar ook omdat de maximumtemperaturen in de media de meeste aandacht hebben getrokken.

Homogenisatie wordt vaak toegepast bij verplaatsing van meetapparatuur. Bij verplaatsing veranderen de omgevingsomstandigheden en daarmee de resultaten van de metingen. Brandsma, de auteur van het aan de homogenisatie ten grondslag liggende technische rapport (Brandsma 2016a), beschrijft de noodzaak van homogeniseren zo: *“Homogeneous time series of daily T_n , T_x and T_{mean} are indispensable for climate change and variability studies.”*



Figuur 1 Ligging 5 hoofdstations

De homogenisatie van De Bilt was onderdeel van een homogenisatie van alle 5 hoofdstations. Behalve De Bilt zijn dat Groningen/Eelde, Maastricht, Den Helder/De Kooy en Vliedingen/Souburg.

Op alle vijf hoofdstations was sprake van een herlocatie van de meetapparatuur. Groningen werd in 1951 vliegveld Eelde, zo'n 10 km ten Z van de stad. Den Helder werd in 1972 vliegveld De Kooy, gelegen ten ZO van Den Helder. Maastricht werd in 1951 vliegveld Beek, ruim 9 km ten NNO van Maastricht, en Vlissingen werd van 1947 tot 1958 vliegveld Souburg en daarna weer Vlissingen. Deze vier stations zijn gehomogeniseerd op basis van parallelle metingen. Bij verplaatsing heeft men gedurende enige tijd zowel op de oude als de nieuwe locatie gemeten.

De Bilt was een geval apart. Op 17 mei 1950 werd de grote Pagodehut vervangen door een Stevensonhut. Op 16 september werd die hut enkele tientallen meters westwaarts verplaatst vanwege bouwwerkzaamheden. Op 27 augustus 1951 werd de hut zo'n 300m naar het zuiden verplaatst, naar een meetveldje. In het technische rapport over de homogenisatie schrijft Brandsma: *"For the relocation in De Bilt in 1951 no parallel observations have been made because the relocation was unforeseen and after the relocation the old location was disturbed due to building activities in the neighborhood of the former screen. Therefore, data of Eelde (before the relocation and screen change and thereafter) has been used for the homogenization of the series."* Een aantal jaren vóór de hutwisseling in 1950 zijn parallelmetingen verricht tussen Pagodehut en een Stevensonhut. De uitkomsten daarvan zijn merkwaardig genoeg niet bij de homogenisatie gebruikt (Brandsma 2016a).

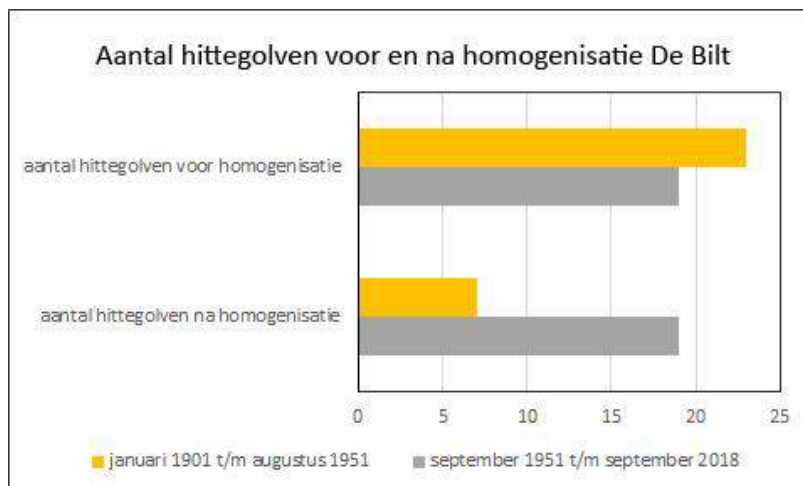
Voor de homogenisaties van de vijf stations maakt het KNMI gebruik van een statistische techniek genaamd *'percentile matching'*. Daarbij vergelijkt men de meetgegevens van de oude en de nieuwe locatie gedurende een overlapperiode. Vanwege het ontbreken van parallelle data bij De Bilt heeft het KNMI gekozen voor de data van station Eelde als referentie.

Wat is een hittegolf?

Van een hittegolf is sprake als in De Bilt in een periode van 5 dagen minstens 3 tropische dagen voorkomen en de overige dagen zomers zijn. Anders gezegd: vijf dagen lang moet de temperatuur in De Bilt boven de 25°C uitkomen, waarvan drie dagen boven de 30°C. Men spreekt van een 'landelijke hittegolf' als die zich in De Bilt voordoet. Indien op een andere plaats wordt voldaan aan de criteria kan men spreken over 'lokale hittegolven'. Deze worden niet officieel geregistreerd of geteld. Een hittegolf eindigt als op een dag de maximumtemperatuur van 25 °C niet meer bereikt wordt. Hittegolven kunnen dus langer duren dan 5 dagen.

Als na het einde van een hittegolf de maximumtemperatuur opnieuw boven de 25°C komt, begint de telling opnieuw. Een zomer kan daardoor meer dan één hittegolf tellen. De zomer van 2018 telde twee hittegolven die 6 en 9 dagen duurden. De zomer van 1947 telde volgens de oorspronkelijke metingen vier hittegolven van resp. 6, 6, 6 en 15 dagen.

De homogenisatie van De Bilt heeft geleid tot opvallend grote verschillen tussen de oude gemeten data en de nieuwe gehomogeniseerde data. Diverse media en internetsites berichtten al snel over deze opvallende grote correcties. De gevolgen van de homogenisatie werden nog beter zichtbaar in de warme zomer van het afgelopen jaar. Er werden in 2018 door het KNMI twee hittegolven geteld. Media berichtten dat hittegolven nu frequenter voor komen: van één keer in de twintig jaar een eeuw geleden tot elke twee tot drie jaar nu. De bron daarvan was het KNMI, dat zich baseerde op de gehomogeniseerde cijfers.



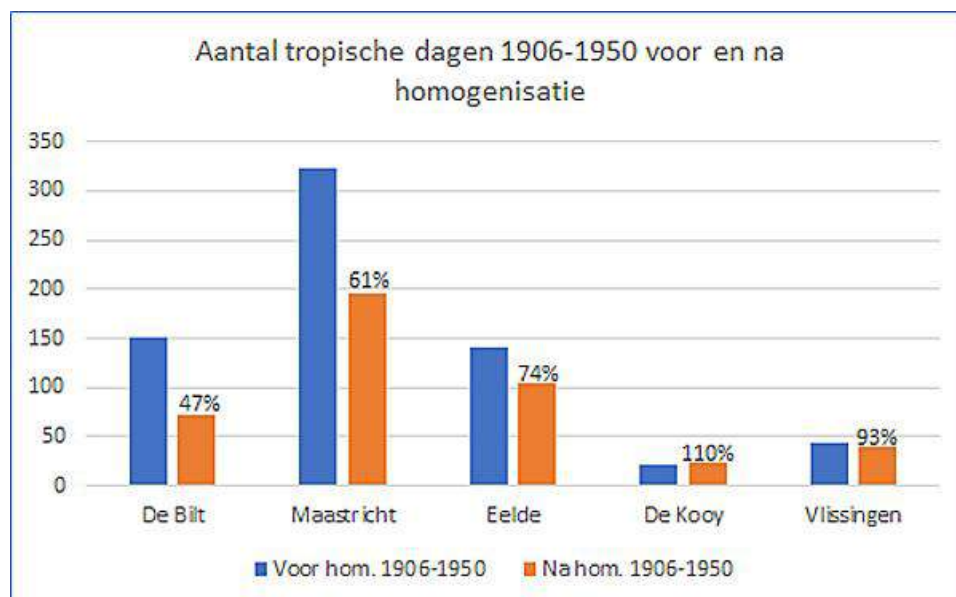
Figuur 2 Aantal hittegolven De Bilt voor en na homogenisatie

In Figuur 2 is te zien wat het effect van de homogenisatie is op het aantal hittegolven van 1901 tot 1951. Vanaf 1 september 1951 zijn de temperaturen niet gehomogeniseerd.

Onderzoeker Brandsma van het KNMI die de homogenisatie heeft uitgevoerd schrijft:
"Bekende problemen zoals de neerwaartse sprong in Tx rond 1950 in De Bilt en het relatief hoge aantal hittegolven in de eerste helft van de 20ste eeuw (...) zijn hiermee verleden tijd."
 Meteorologica, 2016-4, pag. 4

Met "neerwaartse sprong" bedoelt Brandsma kennelijk een trendbreuk in het Tx-verloop als gevolg van de verplaatsing en verandering van meethut. Een van de auteurs van het voorliggende rapport, Frans Dijkstra, heeft al in 2017 kritiek geleverd op de homogenisatie van Brandsma.

Dijkstra (2017) schreef in Meteorologica: *"De homogenisatie van de temperatuurreeksen voor De Bilt leidt voor Tx tot onverwachte uitkomsten die niet in lijn zijn met de uitkomsten bij de andere stations en die onvoldoende verklaard kunnen worden uit de overgang van een pagodehut naar een Stevensonhut. De sterke vermindering van het aantal tropische dagen in de periode 1906-1950 in De Bilt en de veel lagere classificatie van de zomer van 1947 stemmen niet overeen met gehomogeniseerde gegevens van de andere stations. De temperatuursprong rond 1950 doet zich ook voor bij andere KNMI-stations en ook bij stations in Engeland en België."*

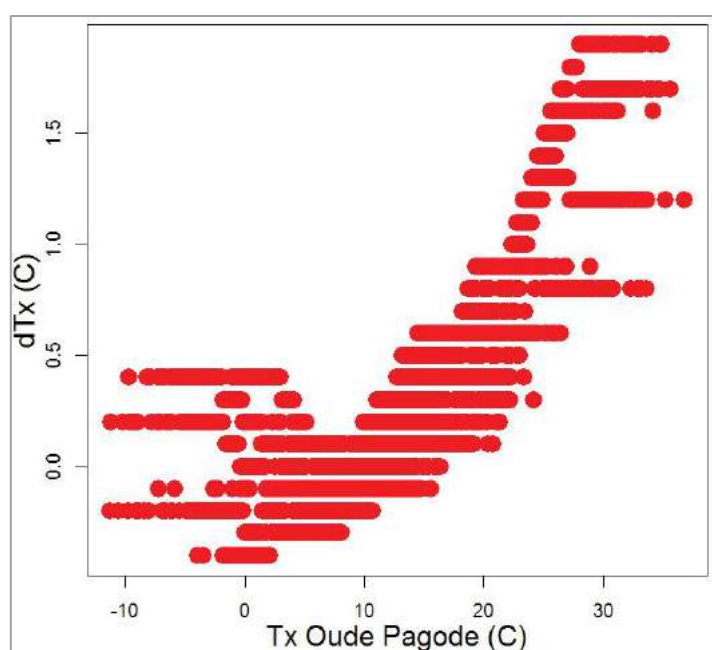


Figuur 3 Aantal tropische dagen op 5 hoofdstations voor en na homogenisatie

Ook in andere media is de homogenisatie omstreden (Rozendaal (2016,2017), Klimaatgek¹). Daarbij gaat het vaak om de meest opvallende gevolgen van de homogenisatie, namelijk de drastisch afname van zomerse en tropische dagen en hittegolven. Van de 931 zomerse dagen bleven er maar 629 over, en het aantal van 164 tropische dagen werd teruggebracht tot 76. Deze herschrijving van de meteorologische geschiedenis heeft tot gevolg dat er in deze periode door homogenisatie nog maar 7 hittegolven erkend worden, tegen 23 vóór de homogenisatie.

Afgezien van de vraag of de homogenisatie van De Bilt wel nodig was en of de gebruikte methode valide is, valt het op dat in De Bilt veel meer tropische dagen zijn geschrapt dan bij de andere KNMI-stations: in Maastricht, Eelde, De Kooy en Vlissingen worden na homogenisatie tussen 35,4 en 39,5% van de tropische dagen voor 1951 geteld, in De Bilt is dit slechts 26,4%. Het lijkt er sterk op dat De Bilt overgecorrigeerd is. In hoofdstuk 4 en 5 wordt daar aandacht aan besteed.

Oud-medewerker van het KNMI en emeritus hoogleraar Henk de Bruin (2016) schreef een kritisch artikel over de homogenisatie van De Bilt in Meteorologica. Uit dat artikel is onderstaande grafiek afkomstig die duidelijk de toegepaste correcties op de temperatuur weergeeft:



Figuur 4 Correctiewaarde dTx als functie van de gemeten Tx

Op de website Weerwoord heeft blogger 'Michiel'² specifiek gekeken hoe de homogenisatie uitpakt voor de maand september. In september zijn, net zoals de andere zomermaanden, alleen de warme dagen zwaar gecorrigeerd, maar de verdeling tussen correcties binnen september is zeer scheef. Figuur 5 toont de correctie per temperatuurinterval.

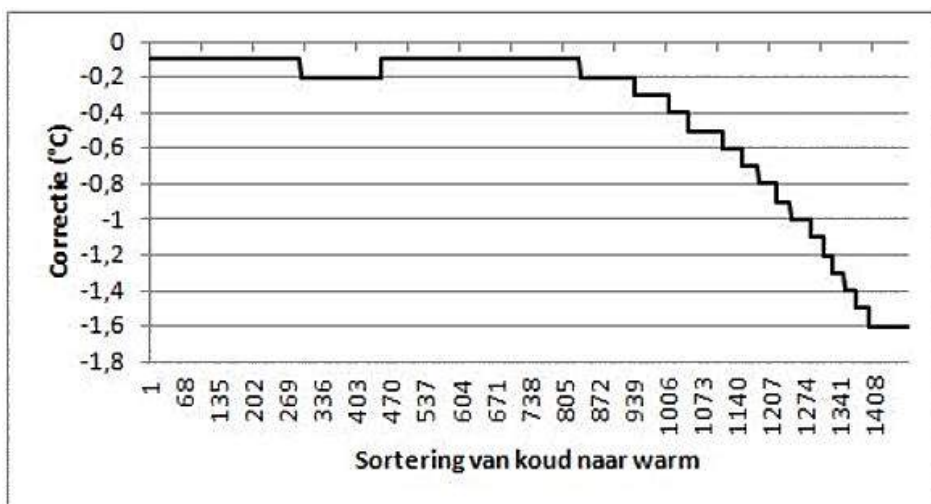
¹ <https://klimaatgek.nl/wordpress/2018/07/27/het-raadsel-van-de-verdwenen-hittegolven>

² <https://www.weerwoord.be/m/2227437>



Figuur 5 Correctie De Bilt per temperatuurinterval voor de maand september

In Figuur 6 is de correctie weergegeven over alle septemberdagen in de gehomogeniseerde periode. Meer dan de helft (939) van alle septemberdagen (totaal 1470) heeft een correctie van 0,1 en soms 0,2 graden gehad. Hier zitten ook veel zonnige dagen tussen, zelfs volledig windstille dagen zoals 14 september 1925.



Figuur 6 Correctie De Bilt voor alle septemberdagen in de gehomogeniseerde periode

Ook is specifiek een aantal dagen met elkaar vergeleken om te laten zien hoe door het negeren van de invloed van de zon en de wind de toegepaste homogenisatietechniek inconsistent wordt:

Het weer op vrijdag 3 september 1909 te De Bilt:

Oude temperatuur 19,2 °C, nieuwe temperatuur 19,1 °C

Duur zonschijn: 10,7 uur

Gemiddelde windsnelheid 4,6m/s

Het weer op woensdag 29 oktober 1913 te De Bilt:

Oude temperatuur 19,1 °C, nieuwe temperatuur 18,3 °C

Duur zonschijn: 2,4 uur

Gemiddelde windsnelheid 6,7m/s

Michiel constateert: "De homogenisatie doet hier exact het tegenovergestelde van wat het zou moeten doen. Beide dagen hebben bijna dezelfde temperatuur, maar 29 oktober 1913, een dag met

een veel lagere zonnestand (vergelijkbaar met half februari), meer wind, veel minder zonneschijnduur en veel minder absolute zonneschijnduur, heeft toch een correctie gekregen die 8x hoger is dan de septemberdag die juist in aanmerking had moeten komen voor een dergelijke correctie. “

In het technische rapport over de homogenisatie schrijft Brandsma: *“For Tx large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles. This is mainly a result (of) a combination of the pagoda which was open at the bottom and affected by reflected sunlight and the enclosed location till 1951.”* Het is daarom opvallend dat de genoemde ‘dominante’ fysische factoren, namelijk zonlicht en ventilatie, niet gebruikt werden bij de homogenisatie: de homogenisatie is een louter statistische exercitie geworden. Het lijkt erop dat dat geresulteerd heeft in een overcorrectie van met name de hogere temperaturen.

Brandsma lijkt zich daarvoor te excuseren als hij schrijft: *“... het is onrealistisch om van een homogenisatiemethode te verwachten dat ze de allerhoogste extremen (zoals het aantal tropische dagen per jaar) perfect corrigeert.”*
Meteorologica, 2017-4, pag. 16

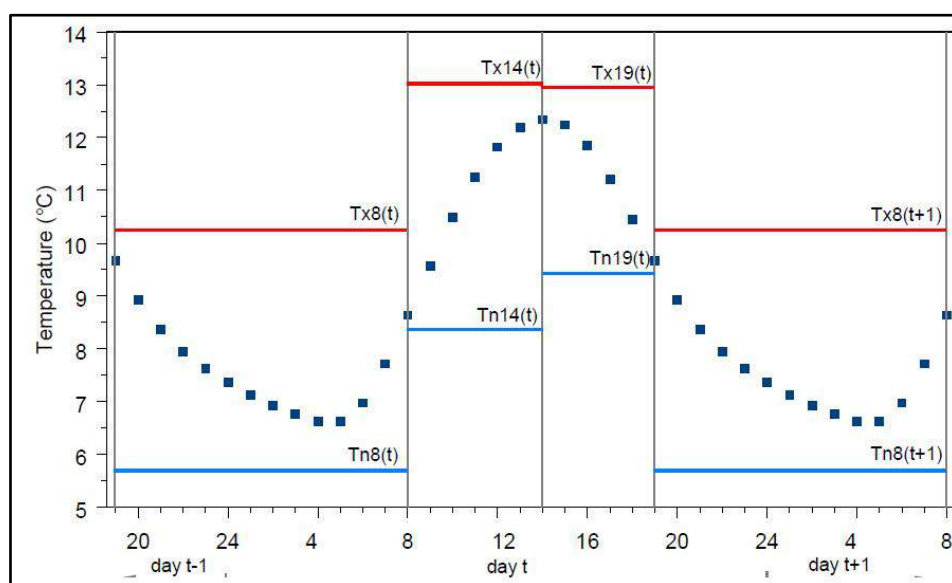
In het volgende hoofdstuk wordt onder andere ingegaan op de vraag of homogenisatie met behulp van een statistisch model, zonder daarbij de fysische factoren te betrekken, wel wetenschappelijk verantwoord is. En of homogeniseren vanuit meettechnische principes überhaupt wel mag.

2 Waarom homogeniseren?

Het KNMI kan een waarnemingsreeks homogeniseren als er veranderingen in waarnemomstandigheden hebben plaatsgevonden die een sprong of trendbreuk veroorzaken die niet klimatologisch van aard is. Te denken valt aan verplaatsingen van de stations en/of instrumenten, langzaam of abrupte veranderingen in de omgeving en veranderingen in instrumenten, meethutten en meetmethoden. De inhomogeniteiten kunnen volgens het KNMI zo groot worden dat een klimaatreeks zonder verdere correcties ongeschikt is voor klimaatonderzoek.³

Het KNMI vindt dat voor onderzoek naar klimaatverandering en variabiliteit het belangrijk is om deze inhomogeniteiten te corrigeren teneinde homogene datasets te verkrijgen. In de praktijk betekent dit dat men dat deel van de meetreeks dat inhomogeniteiten bevat homogeniseert. Die homogenisatie komt meestal neer op een wijziging van de meetgegevens met behulp van statistische technieken. De statistische techniek die toegepast is voor de homogenisatie van de dagelijkse temperaturen van De Bilt heet 'percentile matching' en wordt in hoofdstuk 4 nader toegelicht.

Een wisseling van meetinstrument zou geen inhomogeniteit mogen veroorzaken. De instrumenten dienen immers geijkt te zijn. Toch zijn er redenen om aan te nemen dat ijking van instrumenten niet altijd voldoende is. Sommige oudere thermometers waren op instrumenteel fysische grond niet nauwkeurig genoeg of hadden een langere reactietijd dan de moderne instrumenten. Ook de overgang van glazen vloeistofthermometers naar elektronische minimum-maximumthermometers leverde afwijkingen op. De elektronische meter geeft voor Tx lagere waarden aan, tot 0,5 °C.⁴



Figuur 7 Gemiddelde uurtemperaturen en gemiddelde waarden Tn en Tx De Bilt 1901-1970. Brandsma (2013)

Een bijzondere inhomogeniteit kan ontstaan door meetmethodiek. Tot en met 1932 werden Tn en Tx bepaald voor het interval van 8h tot 8h plaatselijke tijd, daarna tot 1971 van 19h tot 19h. Vanaf 1971 meet men van 0h - 0h UTC (gecoördineerde wereldtijd).

Deze verschillen beïnvloeden de gemiddelde waarden van Tn en Tx. Bovendien werden van 1946 tot 1971 twee waarnemingsmethodes naast elkaar gehanteerd, de synoptische (uurmetingen) en de klimatologische waarnemingen. Die laatste bestaan uit 3 metingen per etmaal van maximum- en minimumtemperatuur (om 8h, 14h en 19h) plus de papieren thermograafstroken. De metingen van

³ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/gehomogeniseerde-tijdreeksen-dagwaarden>

⁴ <https://judithcurry.com/2014/07/07/understanding-adjustments-to-temperature-data/>

1901 tot 1971 werden vanaf 2014 gestandaardiseerd met behulp van de klimatologische data zodat ze vergelijkbaar zijn geworden met de data vanaf 1971.

Omdat bij standaardisatie geen meetdata veranderd worden maar een correctie wordt toegepast op de wijze waarop T_n , T_x en T_g worden berekend wijkt standaardiseren strikt genomen af van homogeniseren vanwege bijvoorbeeld verandering van meetlocatie. Wij gaan in dit rapport voor wat betreft de ongehomogeniseerde etmaaltemperaturen uit van de gestandaardiseerde waarden van de hoofdstations.



Figuur 8 Verplaatsing van de meethut op 27 augustus 1951 (rode lijn), over een afstand van ongeveer 300m

Figuur 8 toont de verplaatsing van de thermometerhut in de loop van de jaren. Op 17 mei 1950 werd de grote pagodehut vervangen door een Stevensonhut (locatie 1). Vanwege bouwwerkzaamheden werd de nieuwe hut op 16 september 1950 tijdelijk enige tientallen meters westwaarts verplaatst (2). Op 27 augustus 1951 werd de hut over een afstand van ongeveer 300m zuidwaarts verplaatst naar een nieuw meetveld (3). In 2008 kreeg de hut zijn huidige locatie (4).

Aanleidingen om tot homogenisatie over te gaan zijn verandering van instrument, type meethut of meetlocatie. Elke verandering rondom een meetpunt en elke verplaatsing, hoe klein ook, levert immers andere fysische omstandigheden op en dus verschillende meetdata. Men kan dan parallelmetingen inplannen.

Lastiger wordt het als er inhomogeniteiten vermoed of ontdekt worden in oude meetreeksen. Soms zijn er aanwijzingen in metadata van een station die wijzen op een mogelijke inhomogeniteit. Vaak echter vermoedt men een inhomogeniteit op basis van het verloop van een meetreeks. Er kan dan sprake zijn van een opvallende trend of een sprong. Statistische technieken om een afwijkende trend en temperatuursprongen te ontdekken worden dan toegepast. Bij de samenstelling van de CNT (Centraal Nederlandse Temperatuur) werd de waarnemingsreeks van één station vergeleken met die van een ensemble van andere stations in Nederland. Lokale afwijkingen zullen dan in het oog springen.

Op het toepassen van homogenisatie van waarnemingsreeksen is de afgelopen jaren de nodige kritiek gekomen. Die kritiek is meestal van fundamentele aard en gebaseerd op de basisregels van meten, ijken en statistiek. Zo is temperatuurmeting op een bepaalde plaats conditioneel, dat wil zeggen afhankelijk van allerlei, al dan niet regelbare, parameters. Wat de relatie van het meetresultaat met de omstandigheden is, is vaak onbekend of wordt onvoldoende begrepen. Een voorbeeld daarvan is de invloed van het vochtgehalte van het bovenste deel van de bodem, kort gemaaid of langer gras et cetera.

Door die ontbrekende kennis wordt (bijvoorbeeld bij een verandering van locatie) de correctie niet fundamenteel aangepakt. Fundamenteel zou zijn om de invloed van de omstandigheden exact te kwantificeren op basis van fundamentele fysische of chemisch kennis. Omdat we dat niet kunnen wordt achteraf via statistische technieken homogenisatie toegepast.

Vanuit een fundamenteel principe van het meten van een grootheid is het toepassen van correcties op individuele data alleen toegestaan als per meetresultaat de fysische aard en de grootte van de correctie precies kunnen worden gegeven. Om hele datareeksen door een statistisch filter te halen om zo een veelvoud van veranderende condities (locatie, apparatuur, meethut, begroeiing, verstedelijking et cetera) te “corrigeren” is vanuit meettechnische principes niet geoorloofd.

De Amerikaanse statisticus William Briggs⁵ reageerde uitgebreid op de homogenisatie van De Bilt naar aanleiding van een artikel van Frans Dijkstra in de Volkskrant⁶. De huidige temperatuurreeks van De Bilt is volgens Briggs een collage van een aantal afzonderlijke waarnemingsreeksen, waarvan de eerste twee zijn gehomogeniseerd:

“In the notes to the data it said in 1950 there was “relocation combined with a transition of the hut”. Know what that means? It means that the data before 1950 is not to be married to the data after that date. Every time you move a thermometer, or make adjustments to its workings, you start a new series. The old one dies, a new one begins. If you say the mixed marriage of splicing the disjoint series does not matter, you are making a judgment. Is it true? How can you prove it? It doesn’t seem true on its face. Significance tests are circular arguments here. After the marriage, you are left with unquantifiable uncertainty. This data had three other changes, all in the operation of the instrument, the last in 1993. This creates, so far, four time series now spliced together.”

⁵ <http://wmbriggs.com/post/14718/>

⁶ <https://www.volkskrant.nl/columns-opinie/het-publieke-weergeheugen-werkt-misleidend~b8f77b3e/>

Er is nog iets merkwaardigs aan de praktijk van homogeniseren. Als bijvoorbeeld een trendbreuk door homogenisatie wordt gladgestreken, werkt die homogenisatie door op alle aan de trendbreuk voorafgaande data. Voor het doel dat de wetenschapper voor ogen heeft, namelijk het creëren van een lange, homogene temperatuurreeks, maakt het echter niet uit of de reeks vóór of ná de breuk wordt gecorrigeerd. Dat dat laatste niet gebeurt heeft te maken met de overtuiging dat de huidige metingen correct zijn. Deze veronderstelling is echter maar beperkt houdbaar, namelijk tot de volgende homogenisatie vanwege verandering van meetinstrument, hut of meetlocatie. De Bruin zegt terecht hierover: *“Dit (homogeniseren) ondermijnt het eigen gezag, want wie zegt het grote publiek dat er momenteel wel goed wordt waargenomen en dat er later niet opnieuw moet worden geharmoniseerd?”*

Ook het homogeniseren op basis van de meetresultaten van een ander station (in dit geval Eelde) is vanuit meettechnische principes niet geoorloofd. IJken doe je op een standaard en niet op de resultaten van een ander station, omdat er dan geen sprake meer is van onafhankelijke meetgegevens.

We zouden het hierbij kunnen laten, homogeniseren moet je niet doen, maar de werkelijkheid is dat homogeniseren van weergegevens op grote schaal voorkomt. Het KNMI stelt: *“De temperatuurreksen van de vijf hoofdstations Den Helder, De Bilt, Groningen, Vlissingen en Maastricht zijn door stationsverplaatsingen inhomogeen. Voor De Bilt speelt daarnaast een verandering van een pagodehut naar een Stevensonhut een rol. De afzonderlijke reksen zijn daardoor over hun volle lengte, zonder correcties, meestal ongeschikt voor het doen van uitspraken over klimaatverandering en -variabiliteit.”* (Brandsma 2016b)

De homogenisatie door Brandsma roept nog meer vragen op. Hoe weet Brandsma dat de trendbreuk in het Tx signaal van De Bilt niet natuurlijk is? En hoe weet hij dat het aantal hittegolven in De Bilt te hoog was? Om dat soort uitspraken te kunnen doen moet De Bilt worden vergeleken met een norm, een referentie. Het technische rapport geeft daar geen uitsluitsel over.

Of er werkelijk sprake is van een inhomogeniteit in het signaal van De Bilt rond 1950, of er aantoonbaar teveel hittegolven in de eerste helft van de 20ste eeuw geteld zijn en of de homogenisatie van De Bilt correct is uitgevoerd zullen we in de volgende hoofdstukken proberen te achterhalen.

3 Parallelmetingen op het KNMI-terrein

Het technische rapport (Brandsma 2016a) stelt: *“For T_x large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles. This is mainly a result (of) a combination of the pagoda which was open at the bottom and affected by reflected sunlight and the enclosed location till 1951.”*

De ‘neerwaartse sprong’ in de jaren ’50 in de temperatuurreeks van De Bilt werd door het KNMI gezien als een inhomogeniteit met twee oorzaken: de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut in 1950 en de verplaatsing over 300m van de hut in 1951.

Hutwisseling

Vanaf 1897 tot 1950 is de zogeheten Pagodehut gebruikt voor de temperatuurmetingen van station De Bilt. Het was een grote hut die aan de onderzijde open was, met een ventilerende dakconstructie. In Figuur 9 is direct achter de Pagodehut een Stevensonhut te zien. Die is daar begin 1942 geplaatst, op 4m afstand van de Pagodehut.

Brandsma (2011) vermeldt dat er parallelmetingen voorhanden zijn tussen Pagodehut en die Stevensonhut: *“The change in screen type was accompanied by parallel measurements. We digitized and analyzed these data and found that the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature.”*



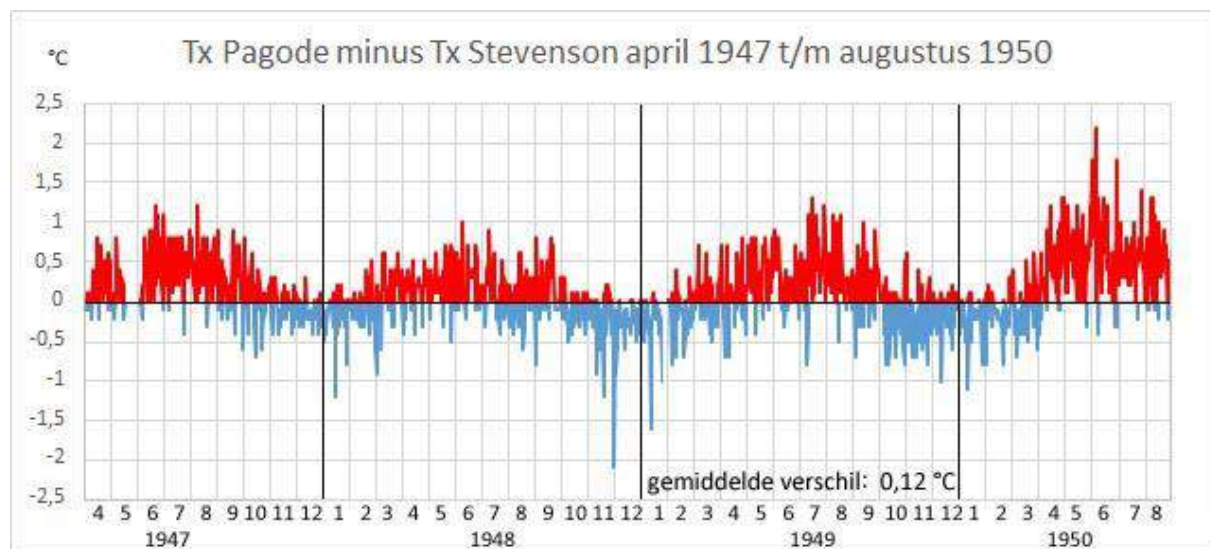
Figuur 9 De Pagodehut met rechts achter de Stevensonhut

Voorafgaand aan de hutwisseling van Pagodescherm naar Stevensonscherm op 17 mei 1950 zijn parallellmetingen van T_m , T_n en T_x verricht van 25 maart 1947 tot 31 augustus 1950. Brandsma (2019) rapporteerde dat de metingen in het Pagodescherm gemiddeld iets hoger waren dan in het Stevenson-scherm (ongeveer 0,3 °C), en dat de grootste verschillen *niet* werden gevonden op de warmste dagen.

Omdat deze gegevens voor ons onderzoek van belang kunnen zijn hebben we de data op 21 januari 2019 opgevraagd bij het KNMI. Helaas bleek het KNMI niet bereid om de gevraagde gegevens per ommekeer naar ons te sturen. Ze komen pas in maart 2019 beschikbaar, na publicatie van een artikel van het KNMI in Meteorologica (Brandsma 2019), terwijl het KNMI (Brandsma 2011) wel al in 2011 gebruik heeft gemaakt van die parallele metingen. Voor de eerste versie van dit rapport was

dat helaas te laat. De resultaten van de parallelmetingen van 25 maart 1947 tot 31 augustus 1950 werden door het KNMI niet gebruikt bij de homogenisatie. Dat is merkwaardig, omdat hiervoor al vermeld werd: “...found that the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature” (Brandsma 2011).

Vanaf april 1947 zijn de parallelmetingen tussen Pagode en Stevensonhut zijn grotendeels compleet: alleen van de Stevensonhut ontbreken 28 etmalen. In Figuur 10 is Tx-Pagode minus Tx-Stevenson weergegeven:



Figuur 10 Verschil tussen Tx gemeten in de Pagode en in de Stevensonhut.

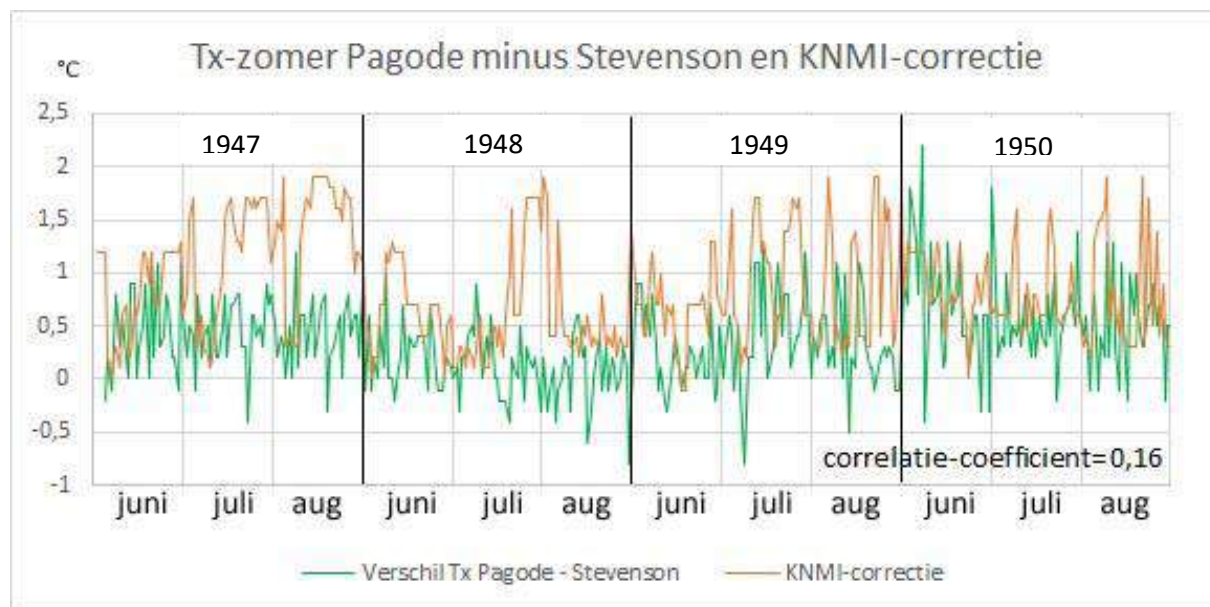
Duidelijk is in Figuur 10 de seizoenstrend te zien: van maart tot september is Tx van de Pagode over het algemeen hoger dan die van de Stevensonhut. Van oktober tot maart is de Stevensonhut over het algemeen warmer dan de Pagode. Over de gehele periode bezien is de Tx van de Pagode wat hoger dan die van de Stevensonhut, gemiddeld 0,12 °C. Als we naar de positieve extremen in de grafiek kijken dan zijn van de in totaal 1248 etmalen er 30 etmalen met een verschil > 1 °C, waarvan 3 etmalen met > 1,5 °C.

Vanwege de open onderzijde van de Pagodehut lijkt deze gevoelig te zijn geweest voor warmtestraling in de vroege morgen in combinatie met de lage windsnelheden in dit deel van de dag. Overdag zullen de verschillen waarschijnlijk gering zijn geweest vanwege de hogere windsnelheden (betere ventilatie in beide hutten). De oorzaak van de hogere Tx van de Stevensonhut in de perioden oktober tot maart blijft vooralsnog onduidelijk. Opvallend is dat de correctie die het KNMI toepast op Tx vrijwel uitsluitend betrekking heeft op de temperaturen waarbij Tx Pagode groter is dan Tx Stevensonhut. Dat was al duidelijk te zien aan de grafiek van Figuur 4 in hoofdstuk 1 over de correctiewaarde ΔTx als functie van de gemeten Tx: de hogere Tx van de Pagode worden gecorrigeerd met ΔTx van 0,1 t/m 1,9 °C, terwijl de te hoge Tx-waarden van de Stevensonhut worden gecorrigeerd met ΔTx van -0,1 t/m -0,4 °C.

Opvallend in de grafiek is dat de verschillen Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut in de warme maanden van 1950 groter zijn dan in de zomermaanden van de voorafgaande jaren. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat 1950 een warmere zomer kende dan de voorafgaande jaren, maar dat was niet het geval. Wel werd in de Stevensonhut vanaf april 1950 geforceerde ventilatie toegepast voor de natte-bolthermometer, waardoor de thermometer mogelijk lagere temperaturen weergaf. De temperatuursprong tussen maart 1950 en april 1950 in Figuur 10 is opvallend. Tijdens een zesjarig veldonderzoek tussen diverse meethutten werd tussen een geventileerde en een niet-geventileerde Stevensonhut gedurende de zomermaanden gemiddeld over zes jaren een verschil van 0,13 °C gevonden (Brandsma en Van der Meulen, 2008). Individuele jaren kunnen grotere verschillen tussen

geventileerde en niet-geventileerde hutten vertonen, waarbij met name bewolgingsgraad en windsnelheid een rol spelen.

Omdat de hoogste temperaturen en de hittegolven in de zomer voorkomen gaat de aandacht hier vooral uit naar de maanden juni, juli en augustus. In de grafiek van Figuur 11 is de Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut (groen) afgezet tegen de correctie (bruin) die het KNMI heeft toegepast op Tx De Bilt. Voor de weergegeven periode van in totaal 6 maanden is de correctie voor de meeste etmalen hoger dan het verschil tussen de Pagode en Stevensonhut.



Figuur 11 Verschil tussen Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut en de door het KNMI toegepaste correctie voor de etmalen in de zomers van 1947 t/m 1950.

De gemiddelde Tx gemeten in de pagode gedurende de weergegeven 12 maanden was 22,59 °C, de gemiddelde Tx van de Stevensonhut was 22,22 °C, een verschil van 0,37 °C. De gemiddelde correctie van het KNMI was in die maanden 0,84 °C. Dat betekent dat het resterende deel, te weten 0,84 °C minus 0,37 °C = 0,47 °C, de correctie voor de locatiewijziging zou moeten zijn.

De grafiek laat duidelijk zien dat de KNMI-correcties niet in de pas lopen met de verschillen die tussen Pagode en Stevensonhut zijn gemeten. Relatief kleine temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut worden vaak sterk gecorrigeerd, terwijl op dagen waarbij de Pagode opvallend warmer is de correctie vaak gering is. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen slechts 23 dagen met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C !

Brandsma (2019) schrijft hierover: *“In de huidige versie van de homogenisatie van de vijf hoofdstations zijn de temperatuurcorrecties alleen afhankelijk van de temperatuur zelf. Op individuele dagen kan de werkelijke correctie daarom afwijken van de toegepaste correctie.”*

Bovenstaande cijfers laten echter geen normale afwijkingen zien, maar tonen een sterke overcorrectie. Deze overcorrectie is een gevolg van het feit dat de warmste dagen vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkt. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de correlatiecoëfficiënt tussen beide signalen in Figuur 11 zeer laag is: 0,16.

Een verklaring voor de bovenstaande overcorrectie kan zijn dat de tweede factor die in het spel is, namelijk de locatieverandering van de meethut in 1951, de hoge correctiefactoren kan

rechtvaardigen. Zoals we verderop in dit hoofdstuk zullen aantonen is dat niet het geval. Ook Brandsma (2019) sluit dat in zijn recente artikel in *Meteorologica* uit.

De Pagodehut is in De Bilt in 2016 herbouwd. Van september 2016 tot september 2018 zijn parallelle metingen verricht tussen deze herbouwde Pagode en een kunststof Stevensonhut. Die metingen vonden plaats op ongeveer 60 m noordelijk van meetlocatie DB260 (zie Figuur 8). Een overeenkomst tussen de oude parallelmetingen en deze nieuwe is dat ook deze recente metingen laten zien dat de Pagode gemiddeld warmer is dan de Stevensonhut en dat die verschillen het grootst zijn in de zomermaanden.

Maar er zijn ook opmerkelijke verschillen. Zo is in de recente metingen het verschil tussen de gemiddelde Tx-Pagode en Tx-Stevensonhut opmerkelijk groter dan in de metingen van 1947-1950, namelijk 0,31 °C tegen 0,12 °C bij de oude metingen. Een ander opvallend verschil is dat bij de recente metingen op 2% van alle meetdagen de Tx van de Stevensonhut hoger is dan in de Pagode, terwijl bij de oude metingen de Stevensonhut op maar liefst 35% van alle dagen een hogere Tx aanwijst dan de Pagode.

Oorzaken van deze verschillen kunnen velerlei zijn. Zo is in de recente metingen de Stevensonhut van kunststof en in de oude metingen van hout. Maar waarschijnlijk de belangrijkste verschillen zijn gelegen in het feit dat de locatie van de recente metingen sterk verschilt van die van de oude metingen. De locatie van de recente metingen was open, terwijl de oude locatie gelegen was in een parkachtige omgeving met hoge bomen en in de buurt van een groot KNMI-gebouw. Ongetwijfeld heeft dit gezorgd voor verschillen in instraling van zonlicht, warmtestraling van het gebouw en windsnelheid. Conclusie: de uitkomsten van de parallelmetingen tussen de nagebouwde Pagode en de Stevensonhut zijn niet vergelijkbaar met die van de parallelmetingen tussen 1947 en 1950.

Brandsma (2011) schrijft over de parallelmetingen van 1947 tot 1950: *“The change in screen type was accompanied by parallel measurements. We digitized and analyzed these data and found that **the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature.**”*. Opmerkelijk is dat Brandsma (2019) recentelijk echter stelt: *“Concluderend kunnen we stellen dat de **correctie in de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang pagode-Stevenson.*** De correctie in Tn is vooral het gevolg van de verplaatsing van locatie A/B naar C/D.” Blijkbaar is Brandsma met ons tot de conclusie gekomen dat de locatieverandering waarschijnlijk geen effect heeft gehad op Tx, zoals we in de eerste versie van dit rapport al aantoonden.

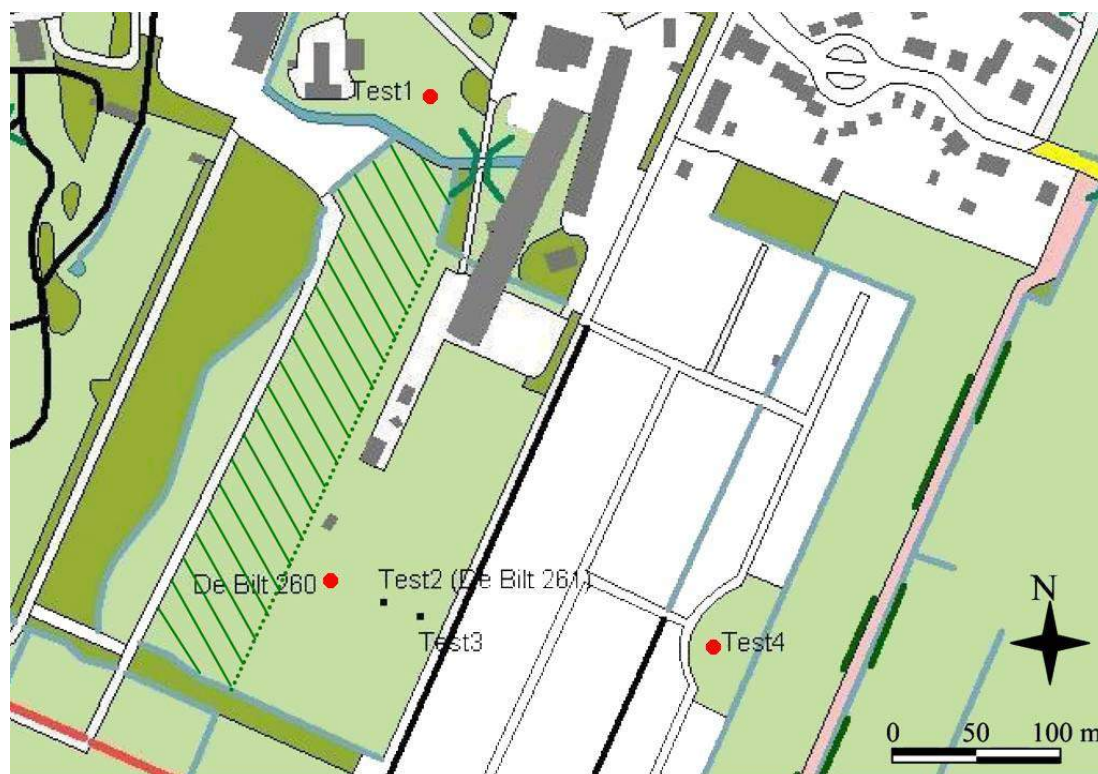
Locatiewisselingen in 1950 en 1951

Na de officiële ingebruikname van de Stevensonhut op 17 mei 1950 werd deze meethut binnen 16 maanden tweemaal verplaatst. Bij de eerste locatiewijziging op 16 september 1950 werd de hut 85 meter westwaarts verplaatst (van 1 naar 2, zie Figuur 8). De nieuwe omstandigheden moeten veel geleken hebben op de oude: de omgeving waarin de hut dan staat is hetzelfde halfopen park als voorheen. Alleen de afstand tot de KNMI-gebouwen is wat groter geworden. Parallelmetingen tussen A en B zijn niet aanwezig.

De tweede verplaatsing vindt plaats op 27 augustus 1951 naar een meetveld ongeveer 300 m ten zuiden van de oude locatie (van 2 naar 3, zie Figuur 8). De afstand is relatief groot en de omgevingsomstandigheden zijn anders. Geen halfopen park met hier en daar een hoge boom maar een open meetveld zonder directe nabijheid van gebouwen. Wel is er ten Z en ten W van de nieuwe meetlocatie hoge begroeiing (bomen) aanwezig. Deze nieuwe locatie heeft van 27 augustus 1951 tot 25 september 2008 onder de codenaam DB260 dienst gedaan als meetlocatie voor de officiële temperatuurreeks van De Bilt.

Ook van deze verplaatsing zijn zoals al geschreven is geen parallelmetingen voorhanden. Wel zijn in de periode van mei 2003 t/m juni 2005 parallelmetingen verricht tussen een vijftal locaties op het KNMI-terrein. Daarbij waren behalve de 'nieuwe' locatie van DB260 vanaf 1951 ook de oude (tijdelijke) locatie van de periode 1950-1951 betrokken.

Een van de redenen om deze parallelmetingen te verrichten was *"....to explore the possibility of using present-day parallel measurements to correct for inhomogeneities, caused by changes in the surroundings and a relocation of the thermometer screen in 1951."* (Brandsma 2011) In Figuur 12 zijn de vijf locaties aangegeven.



Figuur 12 Het testterrein voor de parallelmetingen tussen 2003-2005. Voor testlocaties verwijzen we naar de tekst.

Test1 is de locatie waar de Stevensonhut heeft gestaan van 16 september 1950 tot 27 augustus 1951, nadat de Pagodehut wegens bouwwerkzaamheden moest verdwijnen. DB260 is de locatie waar de meetopstelling op 27 augustus 1951 naartoe is verplaatst. Test4 is de huidige locatie van de meetopstelling, in gebruik genomen op 25 september 2008. Test1 en DB260 zijn de locaties die voor de homogenisatie van de temperatuur in De Bilt van belang zijn.

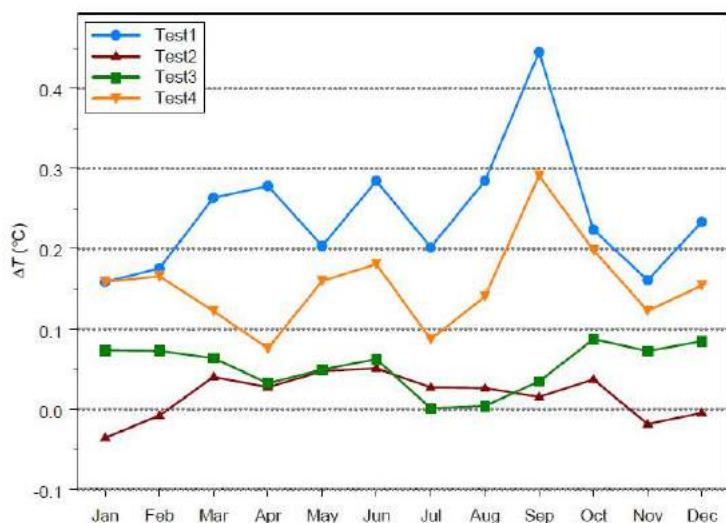
Gedurende het experiment vond een aanzienlijke verandering plaats in het gebied dat in Figuur 12 diagonaal groen gestreept is. Dit gebied was tot 1999 grasland geweest en vanaf die datum langzaam veranderd in ruderaal terrein met opschietende bosschages tot 3m hoog. In september en oktober 2004 werd dit ruderaal terrein veranderd in een park met waterpartijen en werden de struiken gerooid. Dit had tot gevolg dat er een inhomogeniteit ontstond in de meetreeks, het betreffende gebied was op slechts 12 m van de meetlocatie DB260 gelegen.

Om de vergelijking tussen de locaties Test1 en DB260 niet te laten beïnvloeden door genoemde ingreep hebben we gebruik gemaakt van de gegevens die in een interim-rapport (Brandsma 2005) verschenen zijn en waarvan de testgegevens lopen van mei 2003 tot mei 2004. Bijkomend voordeel is dat in dit interim-rapport DB260 als referentielocatie gebruikt wordt. In het definitieve rapport (Brandsma 2011) is Test4 de referentielocatie geworden. Redenen daarvoor waren de genoemde

inhomogeniteit in 2004 en het feit dat sinds 25 september 2008 Test4 de officiële meetlocatie van station De Bilt werd.

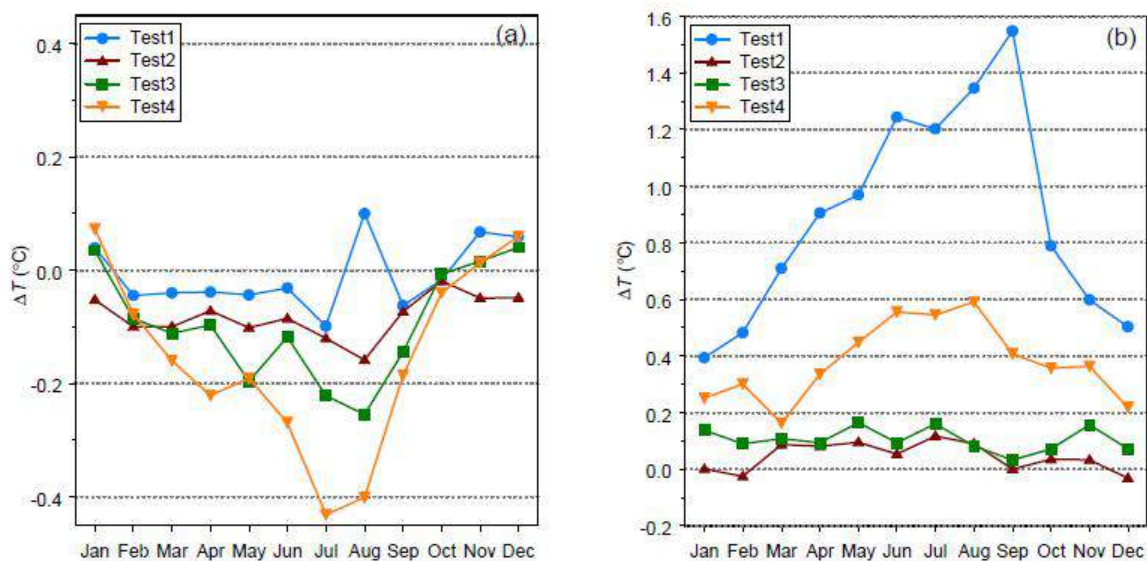
In Figuur 13 is de gemiddelde dagelijkse temperatuur per maand aangegeven voor de 4 testlocaties ten opzichte van DB260. De afwijking van elk van de testlocaties is dus de afstand tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur van elke locatie ten opzichte van de 0.0 lijn. Duidelijk is te zien dat de waarden van de Test1-locatie aanmerkelijk hoger liggen dan van DB260. De cijfers van Test1 zijn ook hoger dan van de andere testlocaties. Wel valt op dat het verschil tussen Test1 en Test4 het geringst is. Test4 is de huidige (vanaf 25 september 2008) officiële meetlocatie van de temperatuur van station De Bilt.

De verschillen tussen de locaties kunnen te maken hebben met verschillen in windsnelheid, zonlicht, straling door nabijgelegen gebouwen et cetera. Met name van de windsnelheid is bekend dat het vaak een belangrijke oorzaak is van temperatuurafwijkingen, vooral overdag.



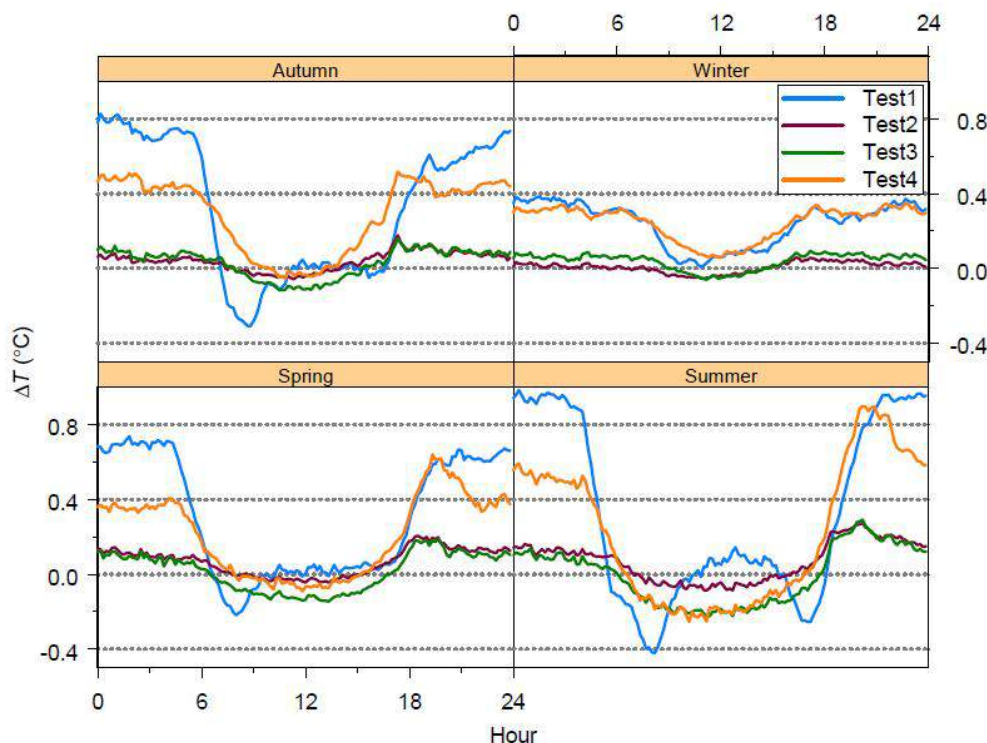
Figuur 13 Verschil tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur per maand van de 4 testlocaties ten opzichte van DB260

Bekijken we echter de gemiddelde dagelijkse maximum en minimum temperatuur per maand dan wordt het beeld heel anders:



Figuur 14 Verschil tussen de gemiddelde dagelijkse maximum (a) en minimum (b) temperatuur per maand van de 4 testlocaties ten opzichte van DB260

De gemiddelde Tx per maand van Test1 wijkt het minste af van die van DB260, terwijl de afwijkingen van de gemiddelde Tn van Test1 het grootst zijn. Om een verklaring te vinden voor die afwijkende minimum temperaturen op locatie Test1 heeft het KNMI de dagelijkse gang van de temperatuur ten opzichte van DB260 van de vier testlocaties in beeld gebracht:



Figuur 15 Verschillen tussen de 4 testlocaties en DB260 van de dagelijkse gang van de temperatuur

Te zien is dat de nachtelijke temperaturen van Test1 opvallend hoog zijn, met name in de zomer. Bovendien is te zien dat de temperatuur gedurende zonsopgang en zonsondergang fors daalt. Dat effect is het grootst in de zomer en het kleinst in de winter. Midden op de dag wijkt Tx van Test1 nauwelijks af van DB260.

De oorzaak van de hogere nachttemperaturen op Test1 moet niet gezocht worden in verschillen in windsnelheid, want de windsnelheid is 's nachts meestal geringer dan overdag. Mogelijk is de kleine 'sky view' een oorzaak: de locatie is omringd door hoge bomen. Door die beperkte 'sky view' wordt de nachtelijke warmte-uitstraling naar boven gehinderd. Ook de warmtestraling van de nabijgelegen bebouwing kan een rol spelen.

De oorzaak van de dip bij zonsopgang en -ondergang wordt gezocht in het feit dat door de omringende begroeiing en bebouwing de thermometerhut op die momenten van de dag in de schaduw ligt. Waar de andere testlocaties dan verwarmd worden door de zon, daalt de temperatuur van de Test1-locatie doordat de warmte-uitstraling op die momenten groter is dan de opwarming door de zon.

Tijdens het warmste deel van de dag zijn de temperaturen op Test1 in de lente en herfst ongeveer gelijk aan die van DB260. In de zomer en winter zijn deze iets hoger dan op DB260 (ongeveer 0,1 °C). Geconcludeerd mag worden dat de verplaatsing van de meethut in 1951 van de locatie Test1 naar de locatie DB260 geen noemenswaardig effect zal hebben gehad op Tx.

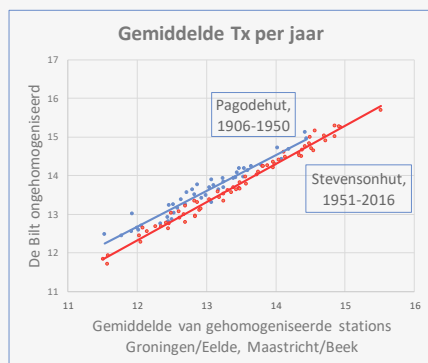
Conclusies

1. Het KNMI heeft voor de homogenisatie om onbekende redenen geen gebruik gemaakt van de parallelle metingen tussen de Pagode en Stevensonhut.
2. De parallelle metingen tussen 1947 en 1950 laten zien dat de Pagode op 65% van de dagen hogere temperaturen toont dan de Stevensonhut. Op de resterende 35% van de dagen is de Stevensonhut warmer dan de Pagode.
3. Het verschil tussen de gemiddelde Tx-Pagode en Tx-Stevensonhut bedraagt 0,12 °C. De verschillen in Tx zijn het grootst in de maanden juni, juli en augustus: gemiddeld 0,37 °C.
4. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen er slechts 23 met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C.
5. De warmste dagen zijn vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkt, waardoor een sterke overcorrectie ontstaat.
6. Het KNMI corrigeert in de zomer Tx tot maximaal 1,9 °C naar beneden. We concluderen dat de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut geen zodanige verschillen teweeg heeft gebracht dat die de sterke correctie van Tx tot 1,9 °C rechtvaardigen.
7. Uit parallelle metingen (Brandsma 2008) blijkt dat gedurende het zomerhalfjaar de dagelijkse maximumtemperatuur (Tx) op de Test1-locatie (de locatie tussen 16 september 1950 en 27 augustus 1951) niet significant afwijkt van die van DB260, terwijl het verschil van de gemiddelde dagelijkse minimumtemperatuur in het zomerhalfjaar 1,2 °C bedroeg.
8. De verplaatsing van de meeteenheid van Test1 naar DB260 heeft waarschijnlijk nauwelijks effect gehad op Tx. Die locatiewisseling lijkt de grote correctie van Tx tot maximaal 1,9 °C dan ook zeker niet te rechtvaardigen. Brandsma concludeert recentelijk dat de correctie in de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang Pagode-Stevenson.

Homogeniseren voor dummies

Dummy 1. Vaste correcties voor alle dagen voor de inhomogeniteit.

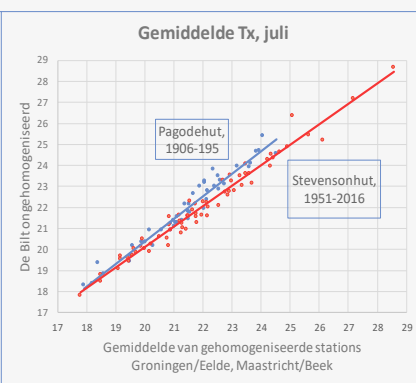
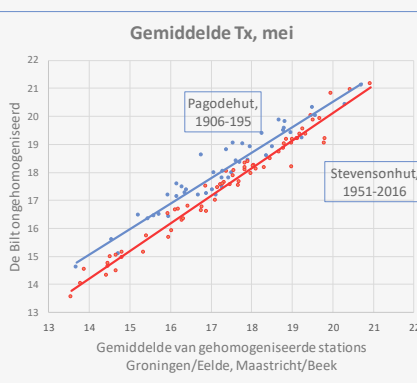
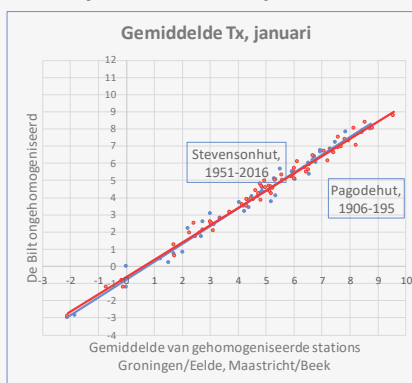
Omdat station De Bilt verdacht wordt niet homogeen te zijn, zetten we de gemiddelde temperatuur per jaar in De Bilt uit tegen de gemiddelde temperatuur van stations die gehomogeniseerd zijn.



De rode lijn geeft de metingen van De Bilt in de Stevensonhut, de blauwe lijn in de pagodehut. De blauwe lijn ligt ongeveer 0,3°C hoger dan de rode lijn. Dus was het in de pagodehut gemiddeld iets te warm. Hiervoor kan gecorrigeerd worden door van alle Tx-waarden 0,3°C af te trekken.

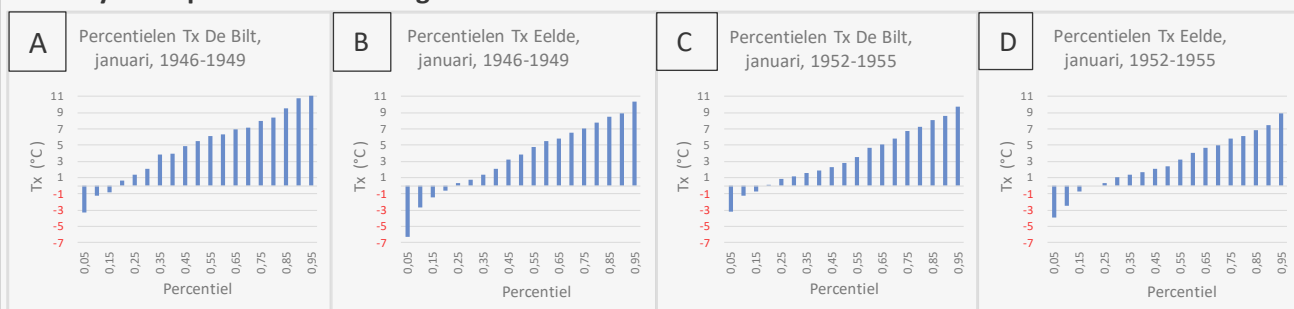
Maar het hangt ook van het seizoen af. Daarom herhalen we dit in **Dummy 2** voor alle maanden van het jaar. Hier worden alleen januari, mei en juli getoond.

Dummy 2. Correcties per maand.



In januari is het in de pagodehut niet warmer dan in de Stevensonhut, maar in mei is het in de pagodehut 0,5-0,8°C warmer. In warme julimaanden is het in de pagodehut ongeveer 0,8°C te warm, maar in koude julimaanden maakt het niet uit. Dat brengt ons op **Dummy 3**. Je moet het niet alleen per maand bekijken, maar ook onderscheid maken tussen koude en warme dagen: sorteert de dagelijkse temperaturen in twee vergelijkingsperioden van de koudste dag tot de warmste dag. De koudste 5% vallen onder het 5%-percentiel, de daarop volgende 5% vallen onder het 10% percentiel, enzovoorts. In **Dummy 3** wordt dit getoond voor de maand januari.

Dummy 3. De percentiel matching methode.



De reeks voor De Bilt heeft een inhomogeniteit rond 1950, de reeks voor Eelde is homogeen. De ruwe correcties voor De Bilt berekenen we per maand en per percentiel als volgt:

A-B = verschil tussen De Bilt en Eelde voor 1950.

C-D = verschil tussen De Bilt en Eelde na 1950.

(A-B) - (C-D) is het verschil tussen beide verschillen, waarmee per percentiel kan worden gecorrigeerd voor de verandering in De Bilt. Dit doen we voor alle 12 maanden. De ruwe correcties vertonen grote verschillen tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Daarom worden de correcties afgevlakt met een smoothing-filter.

4 De reconstructie van de homogenisatie van De Bilt

In dit hoofdstuk beschrijven we onze reconstructie van de homogenisatie die door het KNMI is toegepast op de etmaaltemperaturen van De Bilt. Die homogenisatie betreft Tg, Tn en Tx van 1 januari 1901 tot 1 september 1951. Het KNMI heeft de temperatuurreeksen van De Bilt gecorrigeerd voor de trendbreuk die in 1950/1951 zou zijn opgetreden. Een aantal detailgrafieken is te vinden in bijlage 2 (zie Appendix).

In het technische rapport van de homogenisatie schrijft het KNMI (Brandsma 2016a): *“For the investigated stations, it is known that there have been major relocations that caused inhomogeneities. In addition, for station De Bilt the relocation was accompanied by a major change in thermometer screen.”* Zowel de hutwisseling als de herlocatie in 1950 en 1951 zijn beschreven in hoofdstuk 1 en 3.

Omdat er volgens het KNMI geen parallelle metingen beschikbaar waren heeft men volgens het technische rapport als referentiereeks de data van Eelde gebruikt voor de periode 1946-1949 (vóór de veranderingen in De Bilt) en 1952-1955 (na de veranderingen in De Bilt). Eelde is ook gebruikt om de reeks van Groningen te homogeniseren bij de verplaatsing in 1951 vanuit de stad Groningen naar vliegveld Eelde, 10 km ten zuiden van de stad. We hebben gebruik gemaakt van de niet gehomogeniseerde maar wel gestandaardiseerde reeks (Brandsma 2013) van De Bilt.⁷ Met deze twee reeksen beschikken wij over hetzelfde basismateriaal als het KNMI.

Methoden

Het KNMI heeft de temperatuurreeksen gehomogeniseerd met de *percentiel matching methode*. Daarbij worden voor en na de transitie van een meetpunt gedurende een reeks van jaren parallelle metingen verricht, op grond waarvan voor elke maand percentielen in stappen van 0,05 van de gemeten temperaturen worden bepaald. Door de metingen per percentiel per maand vóór en na de transitie met elkaar te vergelijken kan een correctie worden berekend, waarmee de metingen van vóór de transitie kunnen worden aangepast.

Alle metingen tussen twee percentielen worden verminderd met de correctie die is berekend voor het dichtstbijzijnde hogere percentiel. In een periode van 4 jaar zijn er 113 - 124 dagen voor dezelfde maand. Dat betekent dat tussen twee percentielen in de vergelijkingsperioden gemiddeld ongeveer 6 metingen beschikbaar zijn. Dit leidt tot veel ruis in de data, doordat grote verschillen kunnen optreden tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Daarom heeft men de reeksen afgevlakt met een Loess smoother, waarvoor de span op 0,6 is gesteld op grond van *“a mixture of cross-validation and expert opinion.”*

Voor het berekenen van de percentielen verwijst het KNMI naar Hyndman en Fan (1996). Niet vermeld wordt welke methode er is gebruikt van de diverse mogelijkheden die door deze auteurs zijn genoemd. Volgens Wikipedia (2018) zijn er 5 hoofdmethoden om percentielen te bepalen, met een aantal subvarianten. In Excel zijn vanaf 2013 twee percentiel-functies beschikbaar: percentielen.exc en percentielen.inc. Het verschil zit in het wel of niet meetellen van de mediaan bij de beide helften van de populatie. Inclusieve percentielen liggen dicht bij de mediaan dan exclusieve percentielen en dit verschil neemt toe naarmate een getal verder van de mediaan af ligt. Wij hebben de inclusieve en de exclusieve methode gebruikt en het effect daarvan onderzocht op de resultaten van de

⁷ https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/daggegevens/temp_260.txt

homogenisatie. Het KNMI-rapport vermeldt niet welke software gebruikt werd voor de Loess smoothing. Wij hebben de Loess utility voor Excel gebruikt volgens Peltier.⁸

De span van de smoothing kan worden uitgedrukt als de fractie van het aantal meetpunten dat wordt meegerekend in de smoothing. Er is geen objectieve maat voor de te gebruiken span. Gebruikt men een hoge span, dan wordt de ruis in de data sterk afgevlakt, maar verdwijnen fluctuaties op kortere termijn, die wel relevant kunnen zijn voor wat men wil laten zien. Gebruikt men een lage span, dan kan de ruis in de data zodanig overheersen dat men geen trend meer ziet.

Bij een span van 1,0 worden alle punten meegerekend. Bij korte reeksen moet een hoge span worden genomen, omdat anders de ruis domineert. Bij lange reeksen is een hoge span niet nodig. Bij een tijdreeks over meer dan 100 jaar (zie bijvoorbeeld Figuur 45 in hoofdstuk 8) is het voldoende 20 of hoogstens 30 punten mee te rekenen (de span is dan minder dan 0,2 of 0,3) om de ruis af te vlakken, maar toch relevante fluctuaties in de trend te blijven zien.

Bij de percentiel matching methode heeft men te maken met kleine reeksen: 19 punten voor de percentielen en 12 punten voor de maanden. De keuze van de span is daarbij van grote invloed op het resultaat. Wij hebben verschillende waarden van de span gebruikt en het effect van de span onderzocht op de resultaten van de homogenisatie. Bij de Loess utility in Excel is het minimaal aantal punten dat in de span kan worden meegerekend 5. Bij 12 maanden is de minimale span dus 0,417. Voor 19 percentielen is de minimale span 0,27.

Het technische rapport van het KNMI (Brandsma 2016a) vermeldt over de uiteindelijke correcties: *“The 5 and 95 percentiles are taken as the upper and lower limit, respectively. It was found that for the given number of days these are reasonable limits. For the final correction, temperature values more extreme than the limits are corrected using corrections of the nearest limit, so beyond the limits the correction remains constant.”* Wij interpreteren dit als volgt: temperaturen t/m het 5^e percentiel krijgen de correctie van het 5^e percentiel, temperaturen tussen het 5^e t/m en 10^e percentiel krijgen de correctie van het 10^e percentiel, etc., temperaturen boven het 90^{ste} percentiel en boven het 95^{ste} percentiel krijgen de correctie van het 95^{ste} percentiel. Deze interpretatie wordt bevestigd door het feit, dat de correcties van Brandsma in augustusmaanden 1,9 graad bedragen voor alle temperaturen boven 28 graden. Dat is in de augustusmaanden van 1946-1949 het 90^{ste} percentiel (zie Tabel 1).

We hebben in Excel een VBA-programma⁹ geschreven dat voor iedere dagtemperatuur van 1901 t/m 1950 eerst op grond van de percentielen voor De Bilt van 1946-1949 bepaalt onder welk percentiel van de betreffende maand die temperatuur valt, waarna de daarbij behorende correctie wordt toegepast. Een alternatief kan zijn, dat daarvoor de percentielen van 1952-1955 worden gebruikt. Wij hebben het verschil tussen beide methoden onderzocht. Voor de tropische dagen blijkt dit niets uit te maken, aangezien die allemaal in beide perioden in de twee hoogste percentielen vallen.

⁸ <https://peltiertech.com/loess-smoothing-in-excel/>

⁹ VBA = Visual Basic for Applications, de standaard programmeertaal voor macro's in Excel

Resultaten en discussie

Percentielen TX De Bilt 1946-1949 per maand													Percentielen TX Eelde 1946-1949 per maand												
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
5	-3,3	-4,7	0,8	9,2	11,2	15,2	16,6	17,2	16,1	7,2	3,3	-3,0	5	-6,4	-6,8	-0,8	8,0	10,4	14,4	15,8	17,2	14,8	6,1	2,7	-2,9
10	-1,3	-3,1	1,9	10,0	12,7	16,1	17,4	18,4	16,3	8,0	4,8	-0,2	10	-2,7	-5,0	-0,4	9,2	11,5	14,8	16,4	17,4	15,7	7,6	4,0	-0,7
15	-0,9	-2,0	2,7	11,0	13,6	16,4	17,9	19,1	17,1	9,2	5,6	2,2	15	-1,5	-4,2	0,4	9,8	12,6	15,5	17,0	18,0	16,5	8,3	5,0	1,1
20	0,6	-1,0	3,1	11,4	14,5	17,0	18,2	19,4	17,2	10,9	6,1	2,5	20	-0,6	-3,0	1,2	10,2	13,5	15,9	17,4	18,5	16,9	10,3	5,9	2,1
25	1,4	0,1	4,2	12,0	15,3	17,3	19,2	19,6	17,9	12,1	6,9	3,0	25	0,3	-1,9	2,0	11,0	14,6	16,1	18,4	18,9	17,4	11,6	6,6	3,0
30	2,1	1,1	5,2	12,2	16,1	18,0	20,2	20,0	18,2	13,0	7,6	3,8	30	0,8	0,9	2,9	11,3	15,0	16,5	18,9	19,3	17,9	12,0	6,9	3,5
35	3,8	2,7	6,5	12,8	16,5	18,3	20,3	20,2	18,5	13,3	7,9	4,3	35	1,4	2,8	4,0	11,6	15,4	16,9	19,6	19,7	18,3	12,7	7,6	4,0
40	4,0	4,2	7,5	13,3	16,9	18,6	20,9	20,7	19,2	14,1	8,2	4,8	40	2,1	3,5	5,6	11,9	16,0	17,3	19,9	19,9	18,6	13,1	7,9	4,3
45	4,9	5,3	8,9	13,9	17,6	19,1	21,2	21,1	19,7	15,0	8,7	5,3	45	3,3	4,5	6,7	12,5	16,4	17,7	20,3	20,2	18,9	13,6	8,2	4,8
50	5,5	6,4	9,6	14,3	18,3	19,5	22,2	21,8	20,1	15,4	9,0	6,0	50	3,8	6,0	7,6	13,4	16,9	18,2	21,1	21,0	19,6	14,5	8,5	5,2
55	6,1	7,4	11,0	15,3	19,2	20,0	23,2	22,0	20,5	15,7	9,3	6,3	55	4,8	6,6	8,5	14,1	17,5	18,5	21,3	21,6	19,8	15,0	8,8	5,7
60	6,3	7,8	12,1	16,0	19,3	20,2	23,7	23,2	21,2	16,2	10,0	6,8	60	5,5	7,1	9,7	14,4	17,9	19,1	22,0	21,9	20,1	15,3	9,2	6,2
65	7,0	8,3	12,3	16,4	20,0	20,8	24,5	24,1	22,7	16,3	10,3	7,5	65	5,8	7,5	10,5	15,2	18,6	19,5	22,4	22,4	20,8	15,8	9,6	6,9
70	7,2	8,7	13,0	16,9	20,5	21,2	25,6	24,7	23,3	17,0	11,1	8,0	70	6,5	7,8	10,8	15,6	19,5	19,8	23,0	23,0	21,8	16,2	10,2	7,5
75	8,0	9,0	13,5	17,3	21,4	22,1	26,9	25,3	24,0	17,5	11,9	8,3	75	7,1	8,4	11,7	16,2	20,2	20,3	24,9	23,8	22,6	16,6	10,8	8,2
80	8,4	9,4	14,8	19,1	22,3	23,2	28,2	26,0	24,9	18,0	12,2	9,2	80	7,8	8,8	12,5	17,4	21,5	21,5	25,7	24,0	23,6	17,4	11,3	8,6
85	9,6	10,0	15,3	20,9	23,9	25,6	29,0	26,7	25,3	18,9	12,5	9,9	85	8,5	9,2	12,9	19,1	22,0	23,2	26,8	24,9	24,0	17,9	11,7	8,9
90	10,8	10,5	16,6	21,8	25,3	28,8	30,3	28,0	26,1	19,3	13,2	10,6	90	8,9	9,6	14,7	20,9	23,5	27,6	27,7	26,7	25,2	18,6	12,3	9,8
95	11,2	12,3	17,8	24,1	27,2	31,2	32,0	29,6	28,2	20,2	14,1	11,3	95	10,4	10,8	15,8	23,2	25,8	29,6	31,1	27,6	26,7	19,7	13,0	10,9

Percentielen TX De Bilt 1952-1955 per maand													Percentielen TX Eelde 1952-1955 per maand												
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
5	-3,2	-0,8	1,7	8,3	10,4	13,7	15,9	16,6	12,6	8,6	0,8	0,3	5	-4,0	-3,4	0,2	7,3	9,5	12,8	15,9	16,1	12,4	7,2	0,1	-0,2
10	-1,2	-0,2	2,5	9,2	11,4	14,7	16,5	17,3	13,8	9,8	2,5	1,7	10	-2,5	-2,2	1,3	8,4	10,5	13,8	16,5	17,1	13,0	9,6	2,7	0,9
15	-0,7	0,1	3,7	10,0	12,3	15,4	17,1	18,2	14,7	11,0	4,7	3,1	15	-0,7	-1,3	2,0	8,9	11,5	14,5	16,7	17,5	13,8	10,3	3,7	1,8
20	0,1	0,9	4,5	10,2	12,6	15,9	17,5	18,8	15,4	11,8	5,5	3,7	20	0,0	-1,0	2,8	9,9	12,5	15,5	17,3	18,0	14,8	10,8	5,1	2,5
25	0,8	1,2	4,9	10,6	13,5	17,1	18,1	19,2	16,0	12,2	6,5	4,4	25	0,3	-0,6	3,8	10,0	12,7	15,9	17,5	18,6	15,6	11,2	6,7	3,0
30	1,2	1,9	5,9	11,0	14,0	17,3	18,4	19,5	16,2	12,8	7,5	4,9	30	1,1	-0,1	4,3	10,2	13,0	16,3	18,0	18,8	15,7	11,8	7,0	3,8
35	1,6	2,3	6,4	11,2	14,5	17,5	18,7	19,9	16,3	13,0	8,2	5,8	35	1,4	0,6	5,2	10,6	13,5	17,1	18,4	19,2	15,9	12,2	7,6	4,8
40	1,9	2,9	6,8	11,5	15,3	18,1	19,2	20,1	17,0	13,5	8,5	6,2	40	1,7	1,4	5,6	10,8	14,1	17,8	18,7	19,7	16,4	12,6	7,9	5,1
45	2,3	3,7	7,8	11,8	15,6	18,5	19,6	20,3	17,1	14,1	9,2	6,8	45	2,1	2,0	6,2	11,0	14,9	18,3	18,8	20,0	16,6	12,9	8,5	5,4
50	2,8	4,5	8,3	12,4	16,2	18,9	20,2	20,7	17,3	14,2	9,5	7,2	50	2,4	2,7	6,7	11,3	15,4	18,8	19,3	20,5	16,8	13,4	8,9	6,0
55	3,6	4,8	8,8	13,0	16,9	19,2	20,4	21,5	17,7	14,3	9,8	7,6	55	3,2	3,0	7,2	11,8	16,4	19,1	19,5	20,9	17,0	13,9	9,0	6,3
60	4,7	5,2	9,4	13,4	17,4	20,1	20,9	22,0	17,9	14,5	10,1	8,1	60	4,1	3,8	7,8	12,1	17,7	19,8	19,9	21,7	17,4	14,3	9,6	6,9
65	5,1	5,9	10,7	13,7	18,4	20,5	21,0	22,4	18,5	14,9	10,3	8,4	65	4,6	4,3	8,8	13,2	18,3	20,2	20,6	22,0	17,7	14,4	9,9	7,7
70	5,9	6,2	11,2	14,3	19,6	21,4	22,1	22,8	19,1	15,2	10,7	8,9	70	5,0	5,6	10,0	13,7	19,0	20,8	21,0	22,6	18,2	14,8	10,5	8,1
75	6,8	6,9	12,2	15,2	20,2	22,1	22,6	23,2	19,5	15,9	11,7	9,2	75	5,8	5,8	10,8	14,3	19,5	21,5	22,3	23,2	19,4	15,0	11,0	8,9
80	7,3	7,4	12,8	15,9	20,5	23,2	23,3	23,8	20,2	16,4	12,1	9,8	80	6,1	6,6	11,7	15,4	20,5	22,6	22,9	23,9	20,0	15,3	11,4	9,2
85	8,1	8,0	13,5	18,4	22,2	23,7	24,4	24,5	21,0	17,1	12,3	10,3	85	6,8	7,7	11,9	16,7	21,7	23,7	23,8	24,6	21,3	16,2	11,7	9,5
90	8,7	8,5	15,0	20,2	25,3	25,1	26,1	25,8	22,2	17,7	13,1	10,6	90	7,5	8,6	13,3	19,2	22,8	24,6	26,6	25,6	22,1	16,8	12,0	10,2
95	9,7	9,8	16,2	21,5	27,3	27,3	27,9	27,2	24,2	18,4	14,3	12,4	95	9,0	9,7	14,6	20,6	25,5	26,9	27,6	26,7	23,6	17,5	13,3	11,5

Tabel 1 Percentielen van de maximale etmaaltemperaturen per maand in de vergelijkingsperioden 1946-1949 en 1952-1955 in Eelde en De Bilt.

Tabel 1 laat de temperaturen per maand en per percentiel zien voor de twee stations in de twee vergelijkingsperioden. We hebben daaruit de correcties berekend zoals Brandsma beschrijft.

- 1) Voor elke maand is het verschil berekend tussen de overeenkomstige percentielen in De Bilt en Eelde in de twee perioden en vervolgens is het verschil tussen die twee verschillen berekend. Dat levert de ruwe correcties op die in Tabel 2 zijn weergegeven. De belangrijkste conclusie die uit Tabel 2 kan worden getrokken is, dat de ruis in deze data zeer groot is. Dat is niet verwonderlijk, omdat de basis van de correcties bestaat uit data uit twee zeer verschillende meteorologische perioden. Van 1946-1949 was er één extreem warme zomer (1947), één warme zomer (1948) en één extreem koude winter (1947). Van 1952-1955 waren er alleen koele zomers, drie zachte winters en één koude winter (1954). Tropische dagen kwamen van 1952-1955 weinig voor en geen enkel percentiel heeft in die periode in De Bilt of in Eelde een $T_x > 30^\circ\text{C}$. Bovendien liggen De Bilt en Eelde 147 km van elkaar. Door de gegevens van die stations in die perioden met elkaar te vergelijken kan het niet anders, dan dat men veel ruis genereert. Het is de vraag of daaruit betekenisvolle conclusies kunnen worden getrokken.

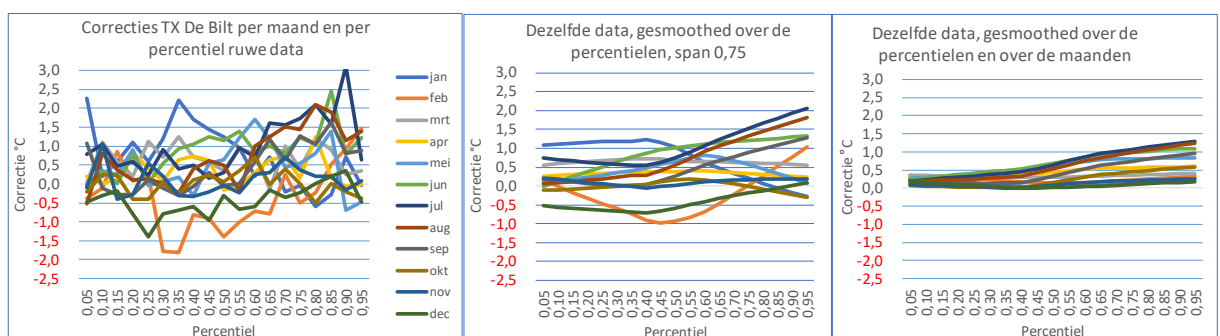
Correctie TX De Bilt per maand per percentiel: $\Delta T = \Delta T1 - \Delta T2$
 $\Delta T1$: temperatuurverschil De Bilt - Eelde voor de relocatie
 $\Delta T2$: temperatuurverschil De Bilt - Eelde na de relocatie

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
5	2,3	-0,4	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,8	-0,5	1,1	-0,2	-0,1	-0,5
10	0,2	-0,1	1,1	0,0	0,3	0,4	1,1	0,8	-0,1	0,3	1,1	-0,3
15	0,6	0,9	0,6	0,1	0,2	0,0	0,5	0,4	-0,3	0,2	-0,4	-0,2
20	1,1	0,1	0,2	0,9	0,9	0,8	0,6	0,1	-0,3	-0,4	-0,3	-0,8
25	0,6	0,2	1,1	0,4	-0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	-0,4	0,6	-1,4
30	1,2	-1,8	0,7	0,1	0,1	0,5	0,9	-0,0	-0,1	0,1	0,2	-0,8
35	2,2	-1,8	1,3	0,6	0,2	0,9	0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,7
40	1,7	-0,8	0,7	0,7	-0,3	1,0	0,5	0,4	-0,1	0,1	-0,3	-0,6
45	1,5	-0,9	0,6	0,6	0,5	1,3	0,1	0,6	0,3	0,2	-0,2	-1,0
50	1,3	-1,4	0,4	-0,2	0,7	1,2	0,3	0,5	-0,1	0,1	-0,0	-0,3
55	1,0	-1,0	0,9	-0,0	1,2	1,4	1,0	-0,2	0,0	0,4	-0,2	-0,7
60	0,2	-0,7	0,8	0,3	1,7	0,9	0,7	1,0	0,6	0,7	0,3	-0,6
65	0,7	-0,8	-0,1	0,6	1,2	1,0	1,6	1,3	1,2	-0,0	0,3	-0,2
70	-0,2	0,3	1,0	0,7	0,4	0,8	1,6	1,5	0,6	0,4	0,7	-0,4
75	-0,1	-0,5	0,4	0,2	0,5	1,2	1,7	1,5	1,3	-0,0	0,4	-0,2
80	-0,6	-0,2	1,2	1,2	0,8	1,0	2,1	2,1	1,0	-0,5	0,2	-0,0
85	-0,3	0,5	0,9	0,2	1,4	2,4	1,6	1,9	1,6	0,0	0,2	0,2
90	0,7	0,9	0,3	-0,1	-0,7	0,8	3,1	1,2	0,8	-0,2	-0,2	0,3
95	-0,1	1,5	0,3	-0,0	-0,5	1,2	0,7	1,4	0,9	-0,4	0,1	-0,5

Tabel 2 Correcties per maand en per percentiel als gevolg van vergelijking van de percentielen per maand in de vergelijkingsperioden.

- 2) Om tot bruikbare correcties per maand en per percentiel te komen is een sterke afvlakking van de verschillen tussen aangrenzende percentielen en maanden nodig. Daarvoor moet men in Tabel 2 eerst een smoothing uitvoeren over de kolommen (de percentielen), en vervolgens over de rijen (de maanden), of andersom. Figuur 16 laat het effect van de smoothing zien. De linker grafiek is de grafische weergave van Tabel 2, de middelste grafiek laat het resultaat zien van de smoothing over de percentielen, de rechter grafiek laat het resultaat zien na smoothing over de percentielen en over de maanden. Bij de smoothing over de maanden heeft het KNMI vóór januari de gegevens van december en november gekopieerd, en na december de gegevens voor januari en februari. Alleen op die manier kan worden voorkomen, dat deze maanden onbedoeld worden beïnvloed door het feit dat ze aan het begin of het einde van de reeks staan. Dat lijkt ons een juiste methode, omdat de smoothing aan het begin en het eind van een reeks minder nauwkeurig wordt. Wij hebben om deze reden 5 maanden toegevoegd aan het begin en het einde van een jaar, zodat ook zinvol gesmoothed kan worden over een periode van 10 maanden. De span is dan $10/12 = 0,83$.

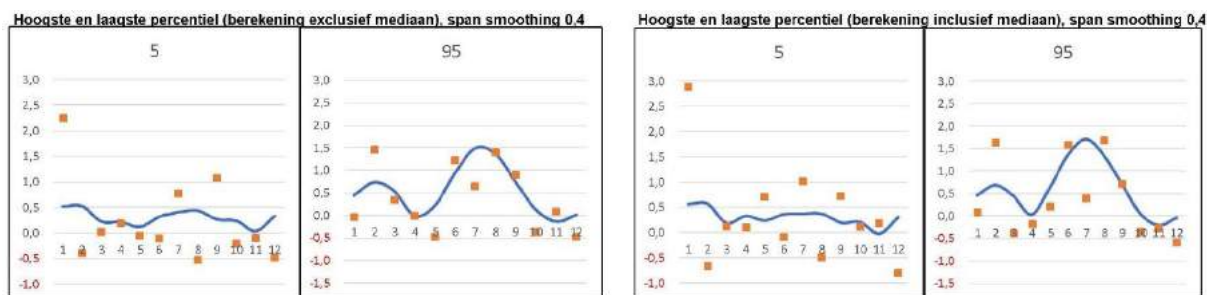
3)



Figuur 16 Correctiefactoren per maand en per percentiel. Links de data zonder smoothing, midden de data na smoothing over de percentielen, rechts de data na smoothing over de percentielen en over de maanden.

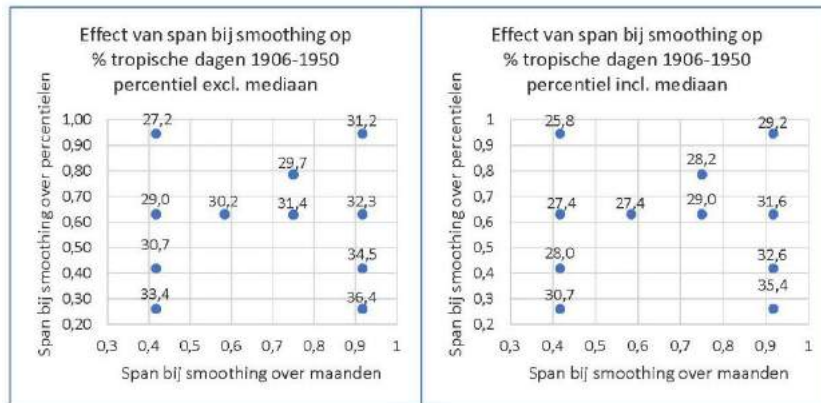
De correctiefactoren voor de 12 maanden zijn per percentiel in beeld gebracht in de Figuur 58 t/m Figuur 60 van bijlage 2. Daarbij zijn drie varianten gebruikt van de span van de twee smoothings: 0,4, 0,6 en 0,9. Deze percentielen zijn exclusief de mediaan. Uit deze figuren blijkt dat de span een grote invloed heeft op de omvang van de correcties. Het is dus mogelijk om door variatie van de span het resultaat te sturen in een gewenste richting. Het is moeilijk om op objectieve gronden een keuze te maken. Het KNMI schrijft dat men ‘*expert opinion*’ gebruikt. Wat die opinie inhoudt maakt men niet duidelijk, de keuze voor de span wordt niet gemotiveerd. Figuur 16 in het technisch KNMI-rapport (Brandsma, 2016a), hier weergegeven als Figuur 61 in bijlage 2 komt het meest overeen met onze Figuur 59 van bijlage 2 maar vertoont minder fluctuaties. Waarom het KNMI niet is uitgekomen op ongeveer dezelfde figuren als onze Figuur 59 of Figuur 60 in bijlage 2 is niet duidelijk.

Wij hebben de Figuur 58 t/m Figuur 60 in bijlage 2 ook berekend met percentielen inclusief de mediaan. Figuur 17 geeft correcties voor de hoogste en de laagste percentielen. Door te rekenen inclusief de mediaan worden de correcties voor het hoogste percentiel voor de zomermaanden groter.



Figuur 17 Effect van verschillende methoden om percentielen te berekenen op de correcties voor het hoogste en laagste percentiel van Tx in De Bilt. Links de percentielen berekend exclusief de mediaan, rechts de percentielen berekend inclusief de mediaan.

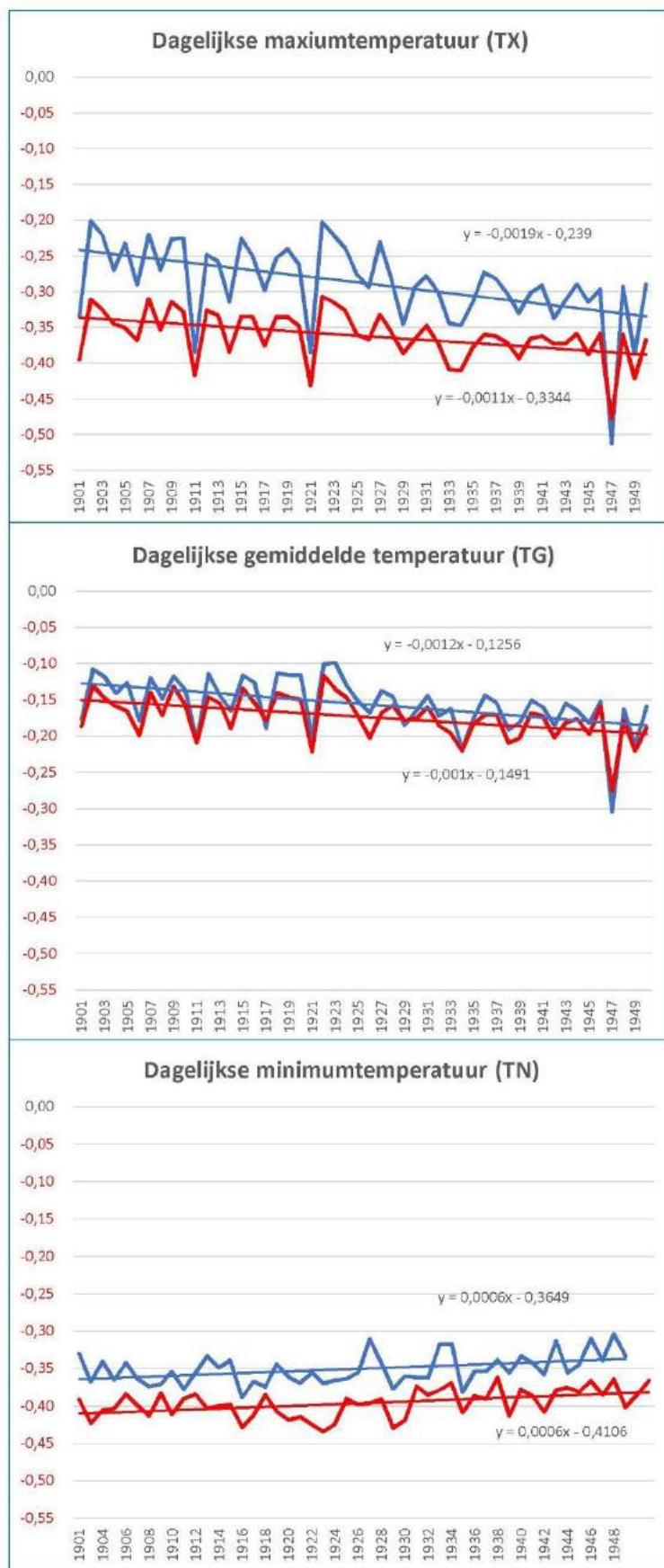
We hebben het effect van de span op de correcties diepgaander onderzocht. Voor een aantal varianten van de span voor de twee smoothings hebben we de Tx-reeks van De Bilt gecorrigeerd, de tropische dagen geteld en het percentage daarvan berekend dat vóór 1951 valt. Dat is gedaan met percentielen die zijn berekend exclusief de mediaan en inclusief de mediaan. Figuur 18 laat het resultaat zien. Hoe hoger de span van de smoothing over de percentielen, hoe minder tropische dagen voor 1951 geteld worden. Bij de smoothing over de maanden is het juist andersom: hoe hoger de span, hoe meer tropische dagen worden gevonden. Bij percentielen inclusief de mediaan zijn de verschillen het grootst. Bij een span van 0,6 in beide dimensies, zoals Brandsma specificeert in zijn technisch rapport, vinden wij ca 30% tropische dagen bij percentielen exclusief de mediaan en 27,4% bij percentielen inclusief de mediaan. Het getal 26%, waar de gehomogeniseerde reeks van het KNMI toe leidt, hebben we niet kunnen reproduceren.



Figuur 18 Effect van span van de smoothing op percentage tropische dagen vóór 1950. Percentielberekening exclusief mediaan (links) en inclusief mediaan (rechts).

Daggemiddelde temperatuur en dagelijkse minimumtemperaturen

Figuur 19 geeft de gemiddelde correcties per jaar voor Tx, Tg en Tn als gevolg van de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie. Op de Y-as is het verschil uitgezet tussen de ongehomogeniseerde, maar wel gestandaardiseerde data van De Bilt en de homogenisatie. De negatieve getallen betekenen dat de homogenisatie de oorspronkelijke waarden heeft verlaagd.



Figuur 19 Gemiddelde correcties per jaar als gevolg van de homogenisatie van Brandsma (blauw) en onze reconstructie van die homogenisatie (rood).

Bij Tx valt op dat onze reconstructie leidt tot gemiddeld grotere correcties dan de homogenisatie van het KNMI. Het verschil loopt van 1901-1950 af van 0,09 tot 0,05 graden. Maar voor 1947 komt het KNMI tot veel grotere correcties. Dat geldt in mindere mate ook voor 1911 en 1921. In warme zomers leidt de methode van het KNMI kennelijk tot extra grote correcties die niet uit onze reconstructie blijken. De fluctuaties in de correcties zijn bij het KNMI veel groter dan bij onze reconstructie. Waarom 1947 er bij het KNMI zo sterk uitspringt kunnen we niet verklaren. Ook het KNMI heeft daar desgevraagd geen verklaring voor gegeven.¹⁰

Bij Tg en Tn zijn de verschillen tussen de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie klein, gemiddeld over de periode 1901-1950 0,02-0,05 graden. Wel zijn de fluctuaties van de jaarlijkse Tg bij het KNMI wat groter dan bij ons. Bij Tg valt vooral 1947 sterk op doordat de homogenisatie van het KNMI voor dat jaar een veel hogere correctie oplevert. Dit hangt samen met de nog veel grotere correctie bij Tx.

De trend in de correcties in de periode 1901-1950 is bij het KNMI voor Tx sterk dalend en bij Tn licht stijgend. Voor Tg is de trend licht dalend. De sterke daling van de correcties bij Tx is in onze reconstructie niet aanwezig

Conclusies

1. De uitkomst van de homogenisatie met de percentiel matching methode, zoals door het KNMI (Brandsma 2016a) uitgevoerd, is sterk afhankelijk van de gebruikte span bij de smoothing en van de manier waarop de percentielen worden berekend. Zonder smoothing is de ruis in de data zo groot, dat geen conclusies per percentiel en per maand zijn te trekken.
2. Dit herhalingsonderzoek bevestigt niet dat bij homogenisatie het aantal tropische dagen en het aantal hittegolven voor 1951 in De Bilt zo sterk daalt als het KNMI claimt.
3. De statistische onzekerheden in de percentiel matching methode bij de door het KNMI gebruikte datareeksen van twee ver van elkaar verwijderde vergelijkingsstations zijn dermate groot dat het aanbeveling verdient andere vergelijkingsstations bij de homogenisatie te betrekken.
4. Zolang er geen algemeen geaccepteerde methode is gevonden om tot gehomogeniseerde daggegevens voor de Bilt te komen dient het KNMI zich in de media te onthouden van uitspraken over klimatologische records die in strijd zijn met de oude, niet gehomogeniseerde reeksen. Het is beter geen homogenisatie te hebben dan een verkeerde homogenisatie.

¹⁰ Correspondentie tussen F.Y. Dijkstra en A.M.G. Klein Tank, januari 2017

5 Reconstructie van de homogenisatie op basis van de aanvullende informatie van het KNMI

Het vorige hoofdstuk laat zien dat reconstructie van de homogenisatie op basis van de informatie uit het Technisch Rapport van het KNMI (Brandsma 2016a) niet tot dezelfde resultaten leidt. De jaargemiddelden van de gemiddelde en de minimumtemperaturen bleken vrij nauwkeurig reproduceerbaar te zijn, maar bij de maximumtemperaturen is er in de jaargemiddelden een substantieel verschil, dat niet in de tijd constant is en voor de jaren met hete zomers het grootst is. Met het aantal tropische dagen in de periode 1901-1950 wijkt onze reconstructie van de homogenisatie af van die van het KNMI. Dat leidde bij ons tot het vermoeden, dat door het KNMI nog andere bewerkingen van de data zijn toegepast, dan in het Technisch Rapport (Brandsma 2016a) zijn vermeld.

Hoor en wederhoor

We hebben geprobeerd hoor en wederhoor toe te passen en hebben het KNMI vroegtijdig in kennis gesteld van onze belangrijkste bevindingen. Ons voorstel om daarover een gesprek te hebben werd door het KNMI afgewezen. Wel wilde het KNMI schriftelijke vragen beantwoorden. In bijlage 3 staan onze vragen van 25 oktober 2018 en de op 9 november 2018 ontvangen antwoorden. Voor dit rapport zijn de volgende punten relevant:

- (1) Het KNMI blijkt een defaultmethode in de R-software te hebben gebruikt voor het bepalen van de percentielen. In hoeverre die methode afwijkt van de standaardmethoden van Excel (exclusief of inclusief mediaan) kunnen wij niet beoordelen. Het KNMI schrijft dat er geen reden was om een andere keuze te maken.
Wij hebben vastgesteld dat de keuze van de methode voor het bepalen van de percentielen invloed heeft op het aantal tropische dagen dat men vindt. Er kan dus wel degelijk een reden zijn om af te wijken van de defaultmethode van de R-software.
- (2) Op welke wijze de span van de smoothing is bepaald legt het KNMI in het technisch rapport niet uit, ook niet hoe men daarbij '*expert opinion*' heeft toegepast. Wel stelt het KNMI dat het effect van een kleine verandering van de span '*op het oog*' klein is.
Wij hebben vastgesteld dat het effect van de span op het aantal tropische dagen groot is en betreuren het, dat het KNMI hier niet verder op in is gegaan.
- (3) In het antwoord op onze derde vraag stelt het KNMI dat er geen aanvullende aanpassingen zijn gedaan op de data, die kunnen verklaren waarom wij niet dezelfde resultaten vinden. Vervolgens meldt het KNMI dat niet de data van 1946-1949 zijn vergeleken met die van 1952-1955, zoals in het rapport staat, maar de data van januari 1946- augustus 1950 met die van januari 1952 – augustus 1956. Dit is gedaan om zoveel mogelijk data van vóór de overgang op de Stevensonhut mee te nemen. Bovendien zijn de percentielen voor elke maand gebaseerd op lopende gemiddelden van drie maanden.
- (4) Over de statistische fout in de berekende correcties meldt het KNMI dat die moeilijk is te bepalen, maar dat men rekening houdt met een fout van een paar tiende graad op de grootste correcties.
Naar onze mening is deze opvatting niet onderbouwd. Wij vinden door variatie van percentielberekening, de span en de vergelijkingsstations veel grotere verschillen ten opzichte van de homogenisatie van het KNMI dan een paar tiende graad.

Het KNMI gaat nergens in op de gevolgen die de gemaakte keuzen hebben voor de uitkomsten van de homogenisatie. Het is ons dus onbekend of het KNMI de gevoeligheid van de methode voor die keuzen heeft onderzocht. Het meest opvallend zijn twee dingen die we hierna zullen onderzoeken:

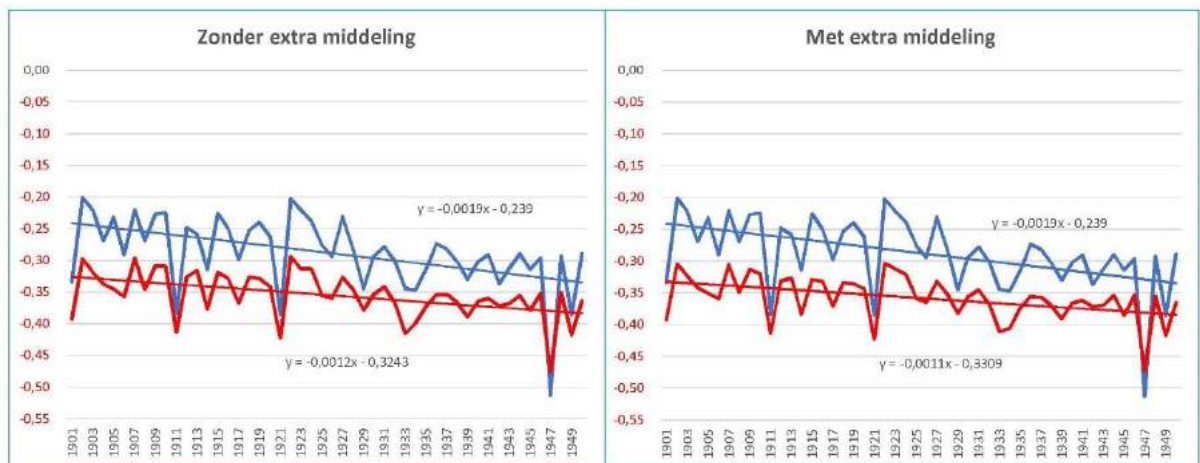
- percentielen gebaseerd op lopende driemaands gemiddelden en
- vergelijkingsperioden van 56 maanden in plaats van 48 maanden.

Driemaands gemiddelden

Door de percentielen te baseren op lopende gemiddelden van drie maanden wordt een derde afvlakking geïntroduceerd: eerst een driemaands gemiddelde over de percentielen, dan een smoothing over de verschillen tussen de percentielen in de oude en de nieuwe situatie, en vervolgens een smoothing van die uitkomsten over de maanden.

Bij een span van 0,6 berekent men een smoothing over de maanden op basis van 7 punten ($7/12 = \text{ca } 0,6$). Door uit te gaan van driemaands gemiddelden neemt men aan weerszijden van die 7 punten een punt extra, waardoor men in feite 9 punten meerekent. Ongeveer hetzelfde effect is te bereiken door bij de smoothing over de maanden uit te gaan van een span van 0,75.

We hebben geprobeerd de homogenisatie te reconstrueren op basis van lopende gemiddelden van de percentielen over drie maanden. Figuur 20 laat het effect zien op de jaargemiddelden van de correcties van Tx.



Figuur 20 Gemiddelde correctie Tx per jaar, 1901-1950, volgens de homogenisatie van het KNMI (blauw) en volgens onze reconstructie (rood). Links: de percentielen in onze reconstructie gebaseerd op percentielen per maand. Rechts: de percentielen in onze reconstructie gebaseerd op driemaands gemiddelden.

Het effect op de jaargemiddelden is gering, gemiddeld zijn de jaargemiddelden na de extra middeling 0,02 °C hoger, maar in de jaren met warme zomers gemiddeld 0,04 °C lager.

Figuur 62 in bijlage 2 laat de correcties per maand en percentiel zien, berekend met een lopend driemaands gemiddelde van exclusieve percentielen en een span van 0,6 bij de smoothings. Deze figuur is vergelijkbaar met Figuur 59 in bijlage 2. Het belangrijkste verschil tussen Figuur 62 en Figuur 59 is de spreiding van de meetpunten: die liggen door de extra middeling over 3 maanden, dicht bij de gesmoothde lijnen.

In Tabel 3 wordt het effect van de verschillende smoothings op de aantallen tropische dagen getoond. De middeling van de percentielen over drie maanden levert voor de periode 1906-1950 vier extra tropische dagen op, bij een span van 0,6. Instellen van de span op 0,75 levert nogmaals 2-3

extra tropische dagen op. Het geringe aantal tropische dagen in de homogenisatie van het KNMI kan dus niet verklaard worden uit de middeling van de percentielen over 3 maanden. Gezien het geringe effect van deze extra middeling zien we hier verder van af en gebruiken een span van 0,75.

Volgens KNMI		Reconstructie homogenisatie volgens dit rapport		
Originele metingen	Gehomogeniseerd	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6, extra middeling
164	76	92	91	94

Tabel 3 Aantal tropische dagen 1901-1950 volgens originele metingen en 4 varianten homogenisatie

Vergelijkingsperiode 56 maanden

Zoals hiervoor gemeld, heeft het KNMI in afwijking van wat in het technisch rapport staat, niet een periode van 48 maanden gebruikt voor de overappende periode, maar van 56 maanden, 1 januari 1946 t/m augustus 1950, om zoveel mogelijk metingen van voor de transitie van de meetapparatuur mee te nemen. Dit heeft een aantal bezwaren:

- (1) Hierdoor gaat de vergelijking niet over een heel aantal jaren. De maanden januari-augustus wegen daardoor zwaarder dan de maanden september-december.
- (2) Er wordt in de periode 1952-1956 een extra strenge winter meegerekend en een extra koele zomer. Wat dat voor gevolgen heeft voor de matching van de percentielen is niet eenvoudig te voorspellen. Uit diverse door ons uitgevoerde reconstructies met andere vergelijkingsstations in Nederland en Duitsland, en andere vergelijkingsperiodes (4 jaar, of 15 jaar) blijken onverwachte en soms grote effecten op te treden (zie hoofdstuk 6 en 7).
- (3) Het bezwaar dat de twee vergelijkingsperiodes meteorologisch onvergelijkbaar zijn wordt door de toevoeging van 8 maanden aan beide perioden niet opgeheven:
 - 1946-1950 telde 1 extreem strenge winter, 1 extreem warme zomer en 1 warme zomer, en daar komen door toevoeging van 8 maanden 1 warme zomer en een normale winter bij,
 - 1952-1956 telt na toevoeging van 8 maanden 1 koude winter, 1 strenge winter en alleen koele zomers.
 Die vergelijkingsperiodes blijven onvergelijkbaar. Bovendien sloeg omstreeks 1950 de AMO-index (Atlantic Multidecadal Oscillation) in de zomermaanden om, wat de inleiding was tot een lange periode met veel slechte zomers die tot 1975 aanhield.

Wij hebben de reconstructie van de homogenisatie herhaald met toevoeging van de door het KNMI genoemde 8 maanden. We hebben de homogenisatie uitgevoerd met exclusieve en inclusieve percentielen en een span van 0,75 voor de beide smoothings.

Figuur 63 in bijlage 2 laat de jaargemiddelden van de correcties van Tx, Tg en Tn zien met gebruikmaking van exclusieve en inclusieve percentielen. Bij vergelijking met Figuur 189 in hoofdstuk 4 valt het op, dat onze reconstructie voor Tx niet meer tot grotere correcties leidt dan de homogenisatie van het KNMI. Het verschil dat we in hoofdstuk 4 vonden kan dus blijkbaar verklaard worden uit de toevoeging van 8 maanden aan de vergelijkingsperiode.

Toch blijven er grote verschillen tussen onze reconstructie en de homogenisatie van het KNMI. De grote fluctuaties van de correcties per jaar, die de KNMI-homogenisatie laat zien, vinden wij niet. Dit geldt in het bijzonder voor de grote correcties in jaren met hete zomers (1911, 1921 en 1947) die het KNMI vindt. Voor Tn zijn onze correcties iets groter dan in de homogenisatie van het KNMI. Tg neemt een middenpositie in, wat logisch lijkt. Onze reconstructies met exclusieve percentielen liggen dicht bij de KNMI-homogenisatie dan die met inclusieve percentielen.

We kunnen constateren, dat door toevoeging van de 8 extra maanden in 1950 en 1956 onze reconstructie dichter bij de homogenisatie van het KNMI komt, maar dat de verschillen in jaren met hete zomers blijven bestaan. Dat blijkt ook uit de aantallen tropische dagen, zoals Tabel 4 laat zien.

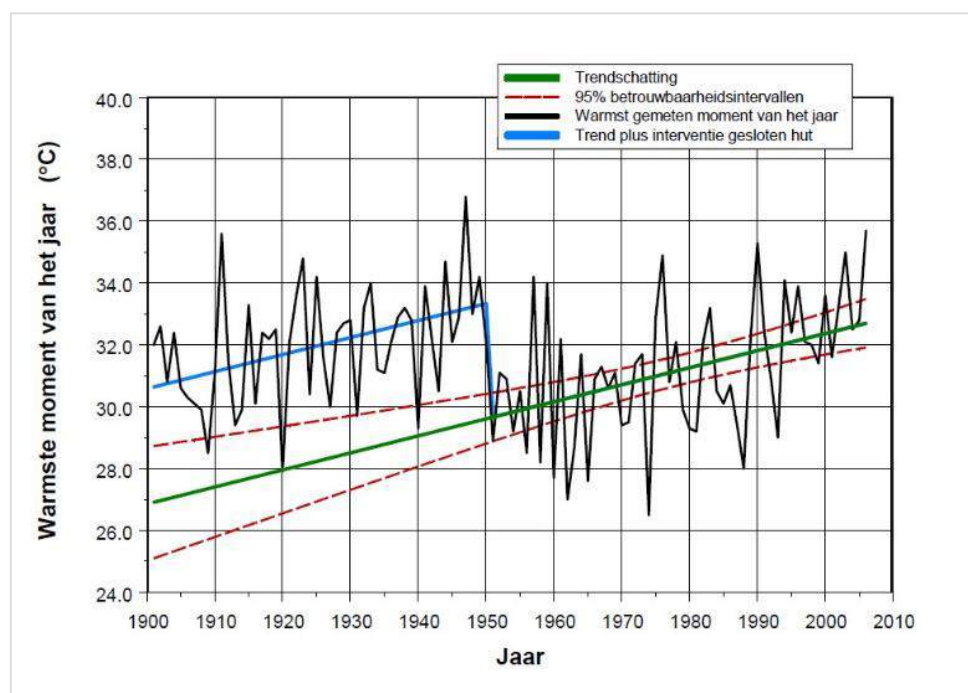
Volgens KNMI		Reconstructie homogenisatie volgens dit rapport			
Origineel	Homogenisatie	Span 0,6 excl.	Span 0,75 excl.	Span 0,60 incl	Span 0,75 incl
164	76	87	87	89	94

Tabel 4 Aantal tropische dagen 1901-1950 volgens originele metingen en 4 varianten homogenisatie met vergelijkingsperioden van 56 maanden

In alle varianten van onze reconstructie vinden wij meer tropische dagen vóór 1950 dan het KNMI: onze uitkomsten variëren van 87-94, tegen 76 volgens het KNMI.

Brandsma (2017) stelt in zijn weerwoord op Dijkstra (2017) dat het “*onrealistisch is om van een homogenisatiemethode te verwachten dat ze de allerhoogste extremen (zoals het aantal tropische dagen per jaar) perfect corrigeert.*” Dat kunnen we onderschrijven, maar in dat licht is het verbazingwekkend dat het KNMI en het PBL in de zomer van 2018 juist veel in de publiciteit zijn getreden met de sterke toename van hittegolven, tropische en zomerse dagen in de laatste 50 jaar, vergeleken met de periode daarvoor, meestal zonder te vermelden dat de cijfers van voor 1950 gecorrigeerd zijn. Aangezien het KNMI zelf toegeeft, dat het onrealistisch is om te verwachten dat deze correcties perfect zijn, zou op dit punt grote terughoudendheid verwacht mogen worden.

Maximale jaartemperatuur



Figuur 21 Ontwikkeling van de maximale jaartemperatuur volgens Visser (2007).

De ontwikkeling van de maximale temperatuur in Nederland (c.q. De Bilt) is iconisch geworden voor de hittegolven van de toekomst. Sommige auteurs (o.a. Mureau c.s., 2013) hebben de vraag gesteld ‘*wanneer bereiken we in Nederland de 40 graden?*’ Visser (2007) deed een poging de trend in de maximale jaartemperaturen van 1901-1951 te corrigeren voor de (vermeende) te hoge metingen in de pagodehut in De Bilt. Zie Figuur 21.

Door de hele temperatuursprong rond 1950 toe te schrijven aan de pagodehut, kwam Visser tot een correctie van 3,5 °C voor de maximale jaartemperaturen in de periode 1901-1950. Hij ging er daarbij

impliciet van uit, dat in Txx een lineaire trend zit over een periode van meer dan 100 jaar. Uit onze analyses volgt dat dit niet juist is: in werkelijkheid is er sprake van een golfbeweging. De temperatuursprong rond 1950 kan slechts ten dele worden toegeschreven aan instrumentele veranderingen en is grotendeels klimatologisch van aard, zoals in hoofdstuk 6 wordt aangetoond.

Conclusies

1. De door het KNMI toegepaste middeling van de percentielen over drie maanden heeft weinig invloed op de uitkomst van de homogenisatie.
2. Het verlengen van de vergelijkingsperiode van 48 tot 56 maanden heeft een duidelijke invloed op de uitkomst van de homogenisatie. Tx wordt daardoor gemiddeld 0,1 °C hoger, Tg 0,05 °C hoger en op Tn heeft het geen invloed.
3. Onze reconstructie van de homogenisatie komt door het verlengen van de vergelijkingsperiode van 48 tot 56 maanden dicht bij de homogenisatie van het KNMI, maar de verschillen tussen de jaren blijven bij de KNMI-homogenisatie groter dan bij onze reconstructie, in het bijzonder in jaren met hete zomers.
4. Het feit dat onze reconstructie dicht bij de homogenisatie van het KNMI komt betekent niet dat de vergelijkingsperiode van 56 maanden beter zou zijn dan 48 maanden. De eerder genoemde bezwaren tegen de vergelijkingsperiode van 56 maanden blijven van kracht.
5. Het aantal van 76 tropische dagen van 1901-1950 waar het KNMI op uitkomt wordt door onze reconstructie niet bevestigd. Wij vinden 87-94 tropische dagen met Eelde als vergelijkingsstation en exclusieve percentielen. Het is evident, dat daardoor ook meer hittegolven vóór 1950 berekend worden.
6. Het feit, dat schijnbaar arbitraire keuzen in de methodiek (percentielberekening, smoothing, lengte van de vergelijkingsperiode) veel invloed hebben op de uitkomsten van de homogenisatie, laat zien dat deze methode niet geschikt is om daggegevens te corrigeren met de pretentie van een nauwkeurigheid van 0,1 graad. Dat is statistisch onverantwoord.
7. Gehomogeniseerde dagtemperaturen dienen te worden afgerond op tenminste hele graden. Dan zou het KNMI van 1901-1950 ook 104 tropische dagen tellen, omdat 29,5 °C statistisch niet te onderscheiden is van de tropische waarde 30 °C. Het aantal hittegolven vóór 1950 zou dan niet 7 zijn maar 10 tot 12.

6 De temperatuursprong en de correctie van het KNMI

Hoofdstukken 4 en 5 toonden een reconstructie van de homogenisatie met de *percentiel matching methode* (verder afgekort tot PMM) die het KNMI op de temperatuur in De Bilt heeft toegepast met Eelde als vergelijkingsstation. In dit hoofdstuk en het volgende passen we een onafhankelijke methode toe. Die methode bestaat uit directe vergelijking van Tx in De Bilt met een representatieve referentieset. De vergelijking levert een schatting op van de grootte van de door de instrumentele veranderingen ontstane trendbreuk van Tx in De Bilt rond 1950. Die schatting vergelijken we met de toegepaste Tx correctie van het KNMI.

In een groot deel van NW-Europa deed zich in de zomer een neerwaartse temperatuursprong voor tussen 1947 en 1956. Die sprong is van klimatologische aard. De veronderstelde breuk in 1950/51 als gevolg van de instrumentele veranderingen valt dus binnen deze klimatologische neergang. Als we corrigeren voor die gemeenschappelijke klimatologische sprong dan moet er een trendbreuk detecteerbaar zijn in De Bilt die andere stations niet vertonen.

De beste methode om een trendbreuk of inhomogeniteit in de temperatuur te detecteren is vergelijking met parallelmetingen (zie hoofdstuk 3). Een andere mogelijkheid is vergelijking met naburige stations. Essentieel bij het detecteren van een breuk is de gebruikte referentiereeks. Gebruikt men een andere set van referentiestations dan zal het resultaat, zoals het tijdstip en de grootte van de breuk, waarschijnlijk anders uitpakken. De referentiereeks bestaat vaak uit het gemiddelde van de waarden van homogene nabijgelegen stations. Sprongen in een tijdreeks worden gedetecteerd op grond van het verschil met de homogene referentiereeks als de trend van de verschilreeks een breuk vertoont op een bepaald tijdstip.

Van der Schrier et al (2011a) gebruiken voor de samenstelling van de CNT (Centraal Nederlandse Temperatuur) een referentiereeks van een aantal langjarige Nederlandse temperatuurreksen om te bepalen of er in de temperatuurreksen van De Bilt sprake is van inhomogeniteiten. De homogeniteitstesten tonen breuken rond 1918-1920, 1950, 1968-1969 en 1976. Voor de breuk rond 1918-1920 is voor de samenstelling van de CNT niet gecorrigeerd en evenmin voor de breuk rond 1976; die breuken waren niet significant.

Over de breuk rond 1950 schrijven Van der Schrier et al in Meteorologica (2011b): *"..de breuk rond 1950 is duidelijk verwant aan een reeks aanpassingen die plaatsvonden in het begin van de 50-er jaren. Op 17 mei 1950 werd de Pagode vervangen door een Stevenson hut. Op 16 september 1950 is de opstelling in westelijke richting verplaatst, om op 27 augustus 1951 300 m naar het zuiden te verhuizen."* In hetzelfde artikel lezen we dat niet alleen gecorrigeerd werd voor de breuk rond 1950 maar ook voor een verlaging van de Stevensonhut in 1961 en de vervanging van de Stevensonhut door een schotelhutje in 1993. Wij konden niet achterhalen of en welke referentiestations daarbij werden gebruikt. Dat is overigens een euvel van meer KNMI-rapporten: wat men precies heeft gedaan wordt niet vermeld. De normale praktijk is, dat men parallelle metingen doet op dezelfde locatie met het oude instrument en het nieuwe instrument. Daar zijn geen referentiestations bij nodig.

In een eerder rapport van Van Ulden (2009) lezen we dat er twee breuken zijn gedetecteerd en niet vier, te weten in 1950 en 1976. Daarbij werden Den Helder, Groningen/Eelde, Oudenbosch en Maastricht/Beek gebruikt als referentiestations. De grootte van de trendbreuk in 1950 werd bepaald als het verschil van de gemiddelden tussen 1935-1949 en 1951-1965.

In dit hoofdstuk gaat het over de breuk rond 1950. Het KNMI (Brandsma 2016a) heeft voor de correctie van deze breuk slechts één reeks gebruikt als referentie: Eelde. Afgezien van het feit dat het gebruik van slechts één station als referentie statistisch gezien problematisch kan zijn is dat nog om

een andere reden opvallend. In het Scientific Report (Van Ulden 2009) wordt gesteld dat Eelde te sterk afwijkt van de meer centraal gelegen stations en daarom niet werd meegenomen in de CNT. Waarom het KNMI desondanks Eelde toch als referentie nam voor de homogenisatie van De Bilt is onduidelijk.

Duitse stations als referentie voor de homogenisatie van De Bilt

Voor het KNMI is de aanleiding om de dagelijkse temperaturen van De Bilt tussen 1901 en 1951 te corrigeren een breuk in de reeks als gevolg van hutwisseling en locatieverandering. Om te onderzoeken of er rond 1950 inderdaad sprake is van een instrumentele breuk hebben we een referentieset van meetstations samengesteld die geen correctie of homogenisatie hebben ondergaan. Om te vermijden dat we daarvoor de al of niet gehomogeniseerde stations in Nederland gebruiken (die bovendien onderling correleren omdat bij homogenisatie vaak dezelfde referentiesets worden gebruikt), hebben wij gekozen voor een volledig onafhankelijke referentieset die we het *Duits ensemble* noemen. Aan die eis voldeden zeven meetstations in Duitsland:

1. Aachen:	1930-2010
2. Münster:	1901-1991 (1945 en 1946 afwezig)
3. Solingen:	1936-2002
4. Geisenheim:	1935-2015
5. Jena Sternw:	1901-2015
6. Lindenberg:	1907-2015
7. Potsdam:	1901-2015

Tabel 5 De 7 stations van het Duitse ensemble

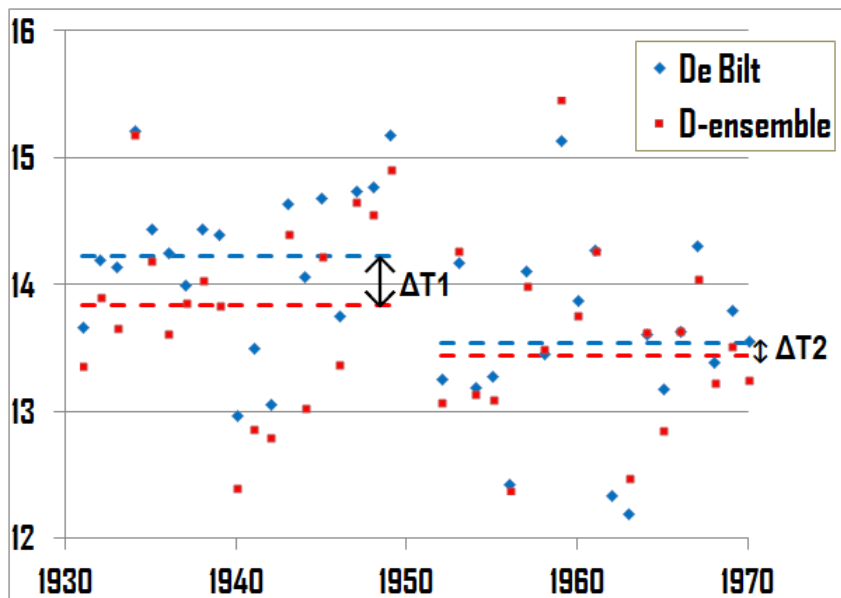
De stations zijn geselecteerd uit de verzameling van 1246 Duitse stations in de ECAD databank¹¹. Veel stations vielen af vanwege het ontbreken van teveel data (waarschijnlijk als gevolg van oorlogshandelingen), veel andere reeksen beginnen pas na 1950. De gebruikte etmaalreeksen van Tx zijn non-blended en voor zover we hebben kunnen nagaan ongehomogeniseerd. In deze studie zijn alleen de jaarlijks gemiddelden van de dagelijkse maximumtemperaturen gebruikt voor analyse. De 2 ontbrekende jaren 1945 en 1946 voor Münster werden opgevuld met die van het meest nabijgelegen station Winterswijk met een kleine correctie. De methode waarmee het Duitse ensemble werd samengesteld is beschreven in Bijlage 1.

Methode

Het feit dat de instrumentele veranderingen in De Bilt toevallig plaatsvonden tijdens een regionale klimatologische neergang kan leiden tot misverstanden, namelijk door de klimatologische neergang te identificeren met de instrumentele breuk. Maar een trendbreuk kan niet worden gedetecteerd door alleen het onderhavige station te bekijken zoals Visser (2007) deed (zie Figuur 21). In de PMM die Brandsma toepaste is de klimatologische neergang namelijk niet relevant, omdat die ook optreedt bij de vergelijkingsstations.

De grootte van de breukcorrectie is alleen afhankelijk van het verschil tussen De Bilt en de referentiestations over de tijdsintervallen voor en na de instrumentele veranderingen in 1950/51. Of de temperatuur na 1951 omhoog of omlaag gaat of gelijk blijft is niet relevant.

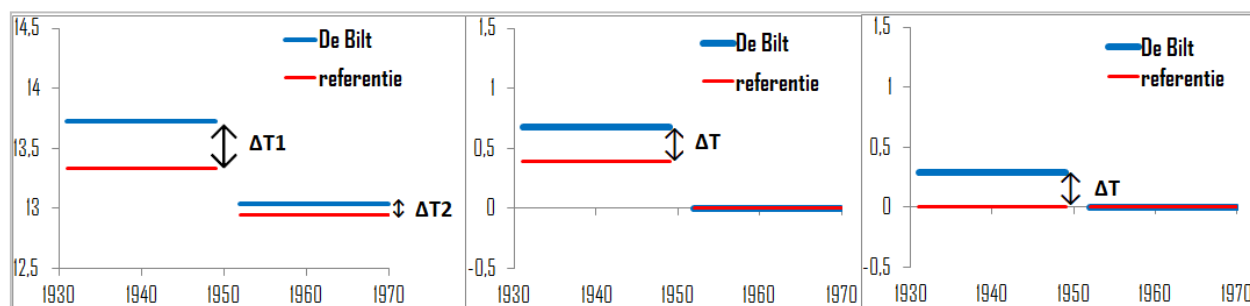
¹¹ <https://www.ecad.eu/>



Figuur 22: Jaargemiddelde T_x ($^{\circ}\text{C}$) van De Bilt en van het Duitse ensemble in de vergelijkintervallen 1931-1949 en 1952-1970. De horizontale streepjeslijnen zijn de gemiddelden over de beide vergelijkingsintervallen. De T_x neergang na 1950 in De Bilt is groter dan die in het ensemble: $\Delta T_1 = 0,21$ en $\Delta T_2 = -0,16$ $^{\circ}\text{C}$. De geschatte trendbreuk in De Bilt (ΔT_x) is dan $0,37^{\circ}\text{C}$.

De formule voor de T_x -correctie ($\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$; zie hoofdstuk 4) geldt voor de percentielen per maand maar zoals we verder zullen zien kunnen we als goede benadering voor ΔT_1 en ΔT_2 ook de gemiddelde T_x -en over de hele vergelijkingsintervallen nemen.

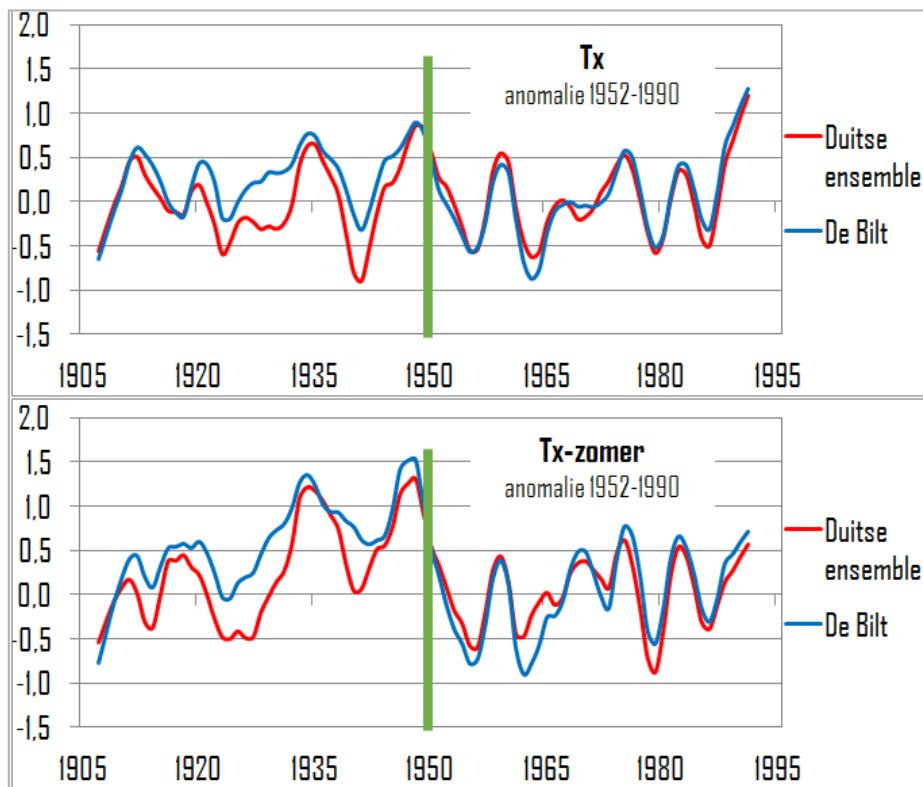
We willen nu een schatting maken van de benodigde T_x correctie in De Bilt en die vergelijken met de T_x correctie van het KNMI. Om het visuele aspect te vergemakkelijken zijn de temperatuurgrafieken uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1990. In Figuur 23 is de gevolgde methode schematisch weergegeven. De schatting van de benodigde T_x -correctie wordt gegeven door vergelijking van De Bilt met een representatieve referentieset:



Figuur 23: Methode (schematisch). Links: gemiddelde T_x -zomer in De Bilt (blauw) en idem voor de referentieset (rood) over de intervallen 1931-1949 en 1952-1970¹². De T_x neergang na 1950 is in De Bilt groter dan die in de referentieset. Midden: beide T_x reeksen nu uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1970. Rechts: de residuele ΔT ($=\Delta T_1 - \Delta T_2$): de geschatte benodigde neerwaartse T_x correctie voor De Bilt.

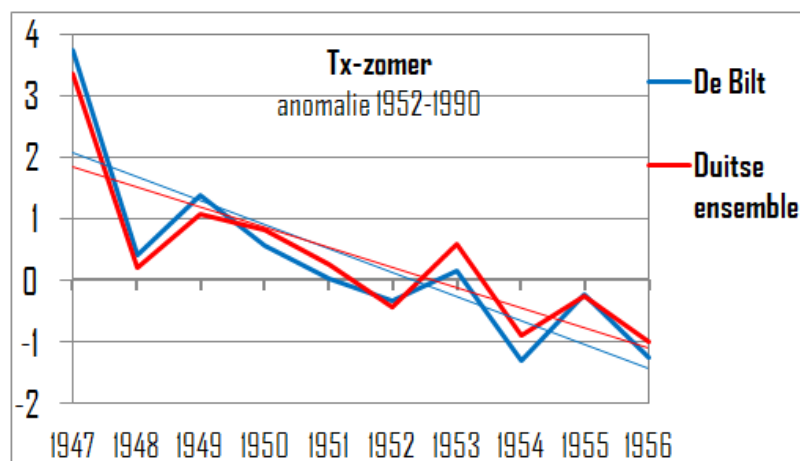
In Figuur 24 vergelijken we de jaargemiddelde T_x en T_x -zomer (mei t/m september) van de ongehomogeniseerde data van De Bilt met die van het Duitse ensemble. De T_x reeksen zijn gladgestreken met een Loess filter.

¹² Deze 18-jaars intervallen zijn gekozen om de meest betrouwbare schatting te krijgen voor ΔT



Figuur 24: Tx (boven) en Tx-zomer (onder) van De Bilt en het Duitse ensemble, beide uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1990 en Loess-gefilterd met span 8 jaar. De groene verticale lijn markeert het interval van de instrumentele veranderingen in 1950-1951. Boven: $\Delta T_x = 0,37 \pm 0,11$ °C; onder: $\Delta T_{x\text{-zomer}} = 0,40 \pm 0,14$ °C.

Vóór 1950 is Tx, en vooral Tx-zomer, in De Bilt relatief hoger dan die van het Duitse ensemble ($\Delta T_x = 0,37$ °C, $\Delta T_{x\text{-zomer}} = 0,40$ °C), na 1950 loopt De Bilt redelijk in de pas met het Duitse ensemble. De klimatologische neergang tussen 1947 en 1956, die zich vooral voordoet in Tx-zomer, verloopt in De Bilt niet anders dan bij het Duitse ensemble ondanks de instrumentele breuk rond 1950:



Figuur 25 Tx-zomer (°C, anomalie van 1952-1990) in het interval van de klimatologische neergang (1947-1956). De Bilt en het Duitse ensemble tonen kwalitatief en kwantitatief vrijwel dezelfde neergang.

De hutwisseling in 1950 en de herlocatie in 1951 veroorzaken geen detecteerbare trendbreuk binnen dit interval: Tx-zomer van de referentieset en De Bilt dalen met vergelijkbare hellingshoek. Het effect van de instrumentele veranderingen is binnen het interval van deze klimatologische neergang niet detecteerbaar, maar Figuur 24 toont dat Tx/Tx-zomer in De Bilt in de jaren vóór 1950 relatief hoger

is. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de genoemde instrumentele veranderingen. In de zomermaanden is de klimatologische neergang overigens het markantst (zie Figuur 24).

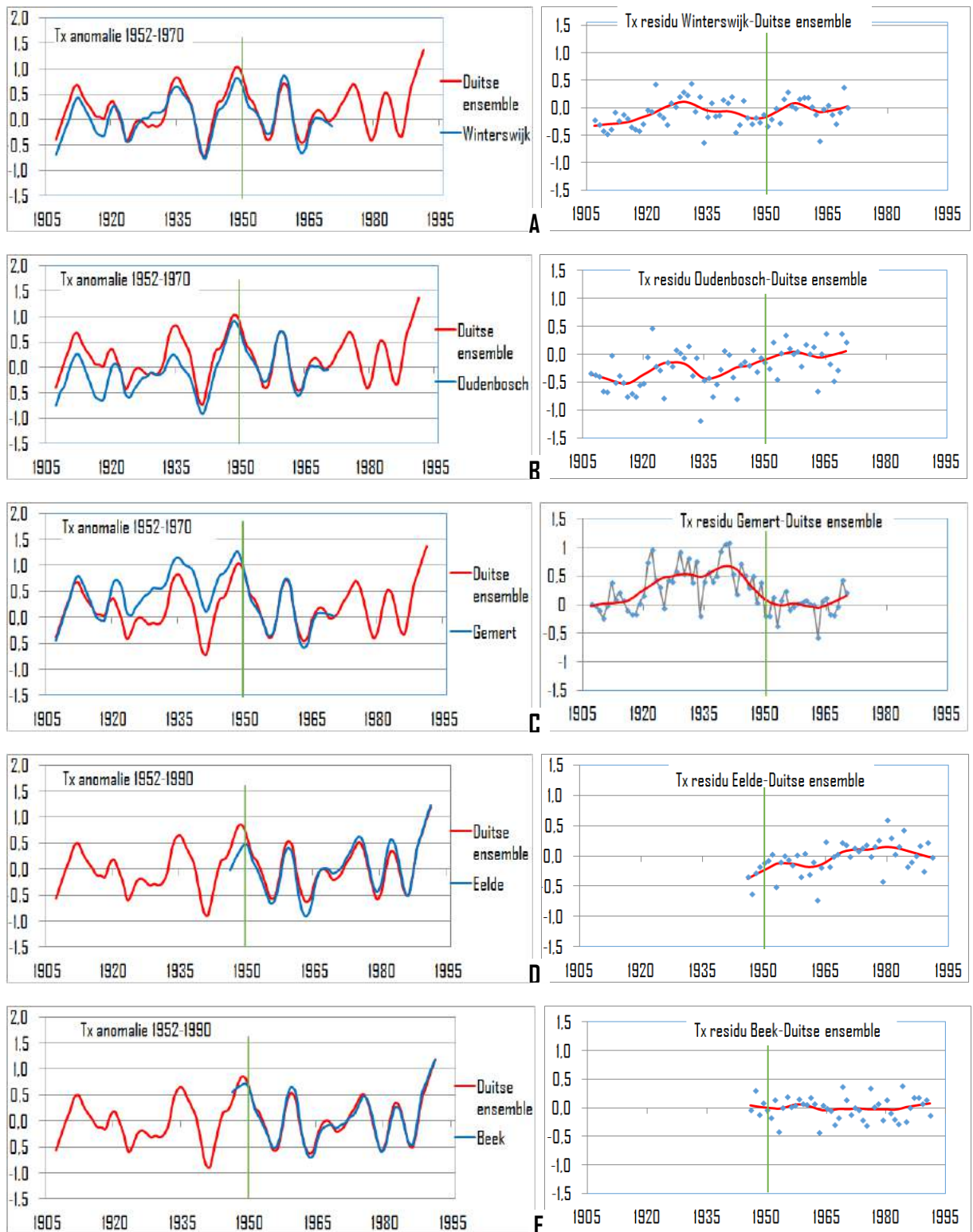
Een nieuwe referentieset voor de homogenisatie van De Bilt

Een aantal Duitse stations ligt wat ver van De Bilt en dat kan invloed hebben op de resultaten. Daarom gaan we met onverdachte Nederlandse stations en dichtbijgelegen Duitse stations een geschiktere referentieset samenstellen. Hiervoor werd al gerefereerd aan het feit dat het gebruik van slechts één referentiestation voor de homogenisatie van De Bilt uit statistisch oogpunt problematisch kan zijn. Het gebruik van één station wordt normaal gesproken beperkt tot een nabijgelegen locatie en uitgevoerd op basis van parallelmetingen gedurende een bepaalde periode. Zie hiervoor hoofdstuk 3.

Behalve Eelde had het KNMI bij de keuze van één of meer referentiestationen ook andere (ongecorrigeerde) stations kunnen betrekken, te weten Winterswijk, Oudenbosch, Gemert, Beek en Eelde. We hebben deze stations vergeleken met het Duitse ensemble om te beoordelen welke van deze stations in aanmerking komen om te worden opgenomen in de nieuwe referentieset.

Figuur 26 (linker grafieken) toont dat na 1950 de Tx'en van alle stations goed in de pas lopen met Tx van het Duitse ensemble. Oudenbosch (Figuur 26B) en Gemert (Figuur 26C) vertonen daarentegen grote systematische trendafwijkingen van het Duitse ensemble in de periode vóór 1950. De rechter grafieken in Figuur 26 tonen de residuen waarmee trendafwijkingen zichtbaar worden gemaakt. Winterswijk (Figuur 26A) vertoont geringe trendafwijkingen van het Duitse ensemble, afgezien van de neergang vóór 1920. In het Scientific Report (Van Ulden 2009) staat dat er kleine trendbreuken zijn in Winterswijk in 1940, 1950 en 1960 als gevolg van instrumentveranderingen. In Figuur 26A-rechts zijn die trendbreuken slechts klein, maar kunnen wel relevant zijn als alleen de kleine 4-jaars intervallen rond 1950 (1946-1949 en 1952-1955) voor homogenisatie worden beschouwd. Voor grotere vergelijkingsintervallen zoals die in dit hoofdstuk worden gebruikt (1931-1949 en 1952-1970) is het verschil met het Duitse ensemble marginaal ($\Delta T_x = 0,08^\circ\text{C}$).

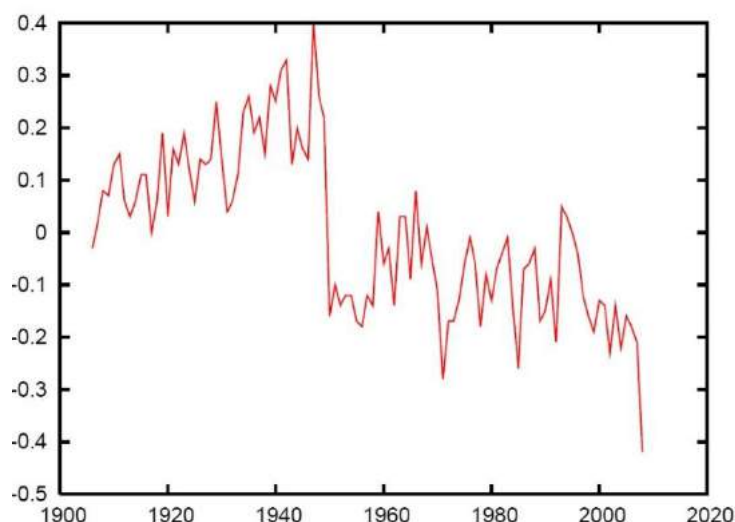
Oudenbosch vertoont veel meer opwarming dan de Duitse referentiereeks ($0,36^\circ\text{C}$ van 1907-1970). Hoe deze opwarming lokaal door natuurlijke factoren kan zijn ontstaan is vooralsnog onbekend. Het KNMI heeft in Oudenbosch alleen een trendbreuk rond 1966 en 1984 gedetecteerd als gevolg van verplaatsing, waarbij Rotterdam, Deelen, Gemert en de gehomogeniseerde reeks van De Bilt als referentie werden gebruikt.



Figuur 26. Figuren links: Tx van vergelijkingsstations en het Duitse ensemble, Loess-gefilterd met span 8 jaar. Figuren rechts: het verschil tussen de jaargemiddelde Tx-en van de vergelijkingsstations en die van het Duitse ensemble (de residuen). De rode lijn is een Loess filter met span 15 jaar door de punten.

Gemert (Figuur 26C) toont een opwarmende trend van 1907 tot 1940 waarna een sterke daling inzet. Metadata van Gemert vermelden een renovatie van het station in 1949. Het KNMI heeft een trendbreuk rond 1950 gedetecteerd met de referenties Oudenbosch, De Bilt en Winterswijk.

Ter vergelijking volgt hier de trendbreuk van Gemert zoals gepubliceerd door Van der Schrier et al in *Climate of the Past* en *Meteorologica* (2011):

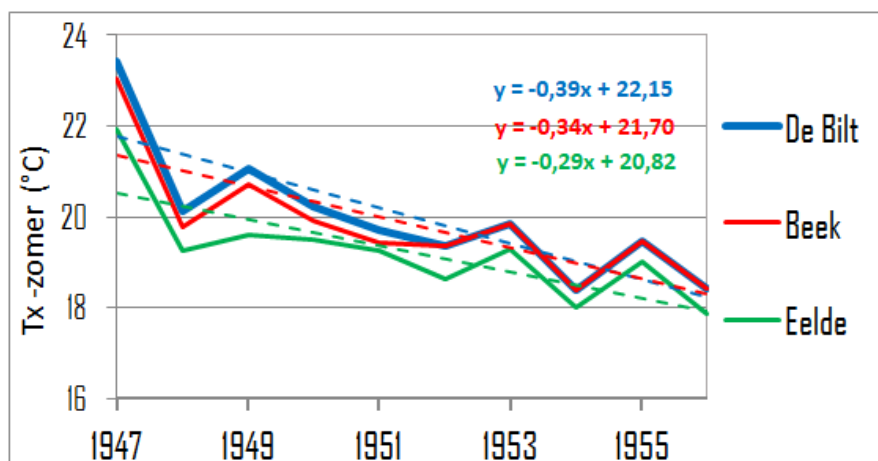


Figuur 27 Trendbreuk in de jaarlijks gemiddelde Tx van Gemert in vergelijking met een referentie, volgens Van der Schrier c.s. Vergelijk met Figuur 25C-rechts.

In Figuur 27 zien we een zeer scherpe inhomogeniteit in 1950 die in Figuur 26C-rechts afwezig is. In Figuur 26C-rechts is de piek rond 1940, niet 1950, bovendien daalt Tx geleidelijk van 1940-1952 en niet plotseling verticaal zoals in figuur 26. Het KNMI wijt de oplopende trend van 1907-1949 aan de geleidelijke vegetatiegroei. Het patroon in Figuur 26C-rechts bevestigt deze interpretatie niet.

Op basis van de voorgaande resultaten vallen Oudenbosch (zie ook bijlage 1) en Gemert af om te worden opgenomen in de nieuwe referentieset van nabije stations. Het KNMI heeft gekozen voor Eelde als het enige referentiestation. Waarom voor Eelde is gekozen wordt in het technisch rapport niet vermeld, en evenmin waarom niet méér referentiestationen zijn gekozen zoals gebruikelijk is (zie bijlage 3 voor een antwoord van het KNMI op deze vraag t.a.v. Beek). Een ander nadeel is dat de metingen in Eelde pas beginnen in 1946.

Het residu van Eelde (Figuur 26D-rechts) toont de tekortkoming van Eelde als enig referentiestation: de meetreeks begint pas in 1946 waardoor er maar 4 hele jaren vóór 1950 beschikbaar zijn. De periode van 1946 t/m 1949 speelt een belangrijke rol in de homogenisatie van De Bilt. We zien ook dat deze 4 jaren een relatief lage Tx vertonen. Dat doet vermoeden dat de homogenisatie van De Bilt, waarbij de temperatuurreeksen van Eelde van 1946-1949 en 1952-1955 als vergelijkingsintervallen zijn gebruikt, niet representatief is. Het residu van Beek (Figuur 26E-rechts) toont dat Beek beter in de pas loopt met het Duitse ensemble dan Eelde (Figuur 26D-rechts).



Figuur 28. Vergelijking van het verloop van de jaargemiddelde Tx-zomer (°C) in De Bilt, Beek en Eelde in het interval van de klimatologische neergang 1947-1956.

In Figuur 28 zijn voor de periode van de klimatologische neergang 1947-1956 behalve de Tx van De Bilt en Eelde ook die van Beek weergegeven. Omdat Eelde een gemiddeld lagere temperatuur heeft dan Beek en De Bilt, en Tx in De Bilt en in Beek van 1952-1956 vrijwel gelijk zijn, ligt een keuze voor Beek als referentiestation meer voor de hand dan van Eelde. Op basis van bovenstaande resultaten is een referentieset samengesteld uit de 3 Nederlandse stations Beek, Eelde en Winterswijk, en de 3 meest nabijgelegen stations uit het Duitse ensemble:

1	Winterswijk ¹³	1907 - 1970
2	Beek	1946 - 1991
3	Eelde	1946 - 1991
4	Aachen	1930 - 1991
5	Solingen	1936 - 1991
6	Münster	1907 - 1991

Tabel 6 De 3 Nederlandse en de 3 Duitse stations van de referentieset en de gebruikte jaren van Tx.



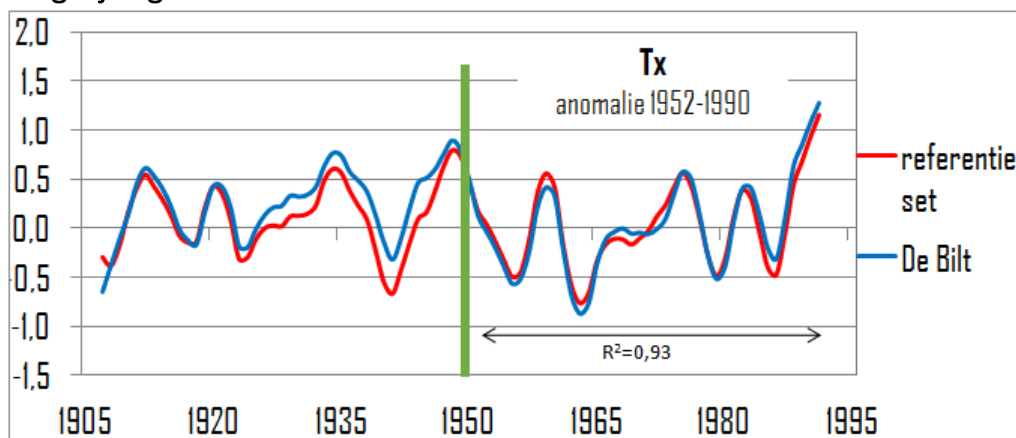
Figuur 29 De ligging van de 6 stations van de referentieset.

De afstand van Eelde tot De Bilt is vergelijkbaar met de afstanden van de overige stations in de referentieset. Het argument dat deze stations te ver noordelijk of te ver zuidelijk liggen voor een analyse lijkt niet erg valide, omdat het KNMI kennelijk geen bezwaar had tegen Eelde als referentie. Omdat de reeks van Münster in 1991 eindigt laten we de reeksen die verder doorlopen ook eindigen in 1991. Voor de analyse van de instrumentele breuk rond 1950 is een langere reeks ook niet relevant.

¹³ november 1944 afwezig, opgevuld met Münster november 1944 met kleine correctie

Deze stations zijn de basis voor onze nieuwe referentieset, hierna 'referentieset' genaamd. Op basis van deze referentieset van 6 stations hebben we een ensemble van de gemiddelde anomalie van de jaarlijks gemiddelde Tx bepaald. In Bijlage 1 is de methode beschreven om van deze stations, die verschillende perioden beslaan, één referentieset te maken voor de periode 1907-1990. We claimen overigens niet dat deze referentieset optimaal is voor vergelijking met De Bilt; uiteraard zullen er meteorologische verschillen zijn.

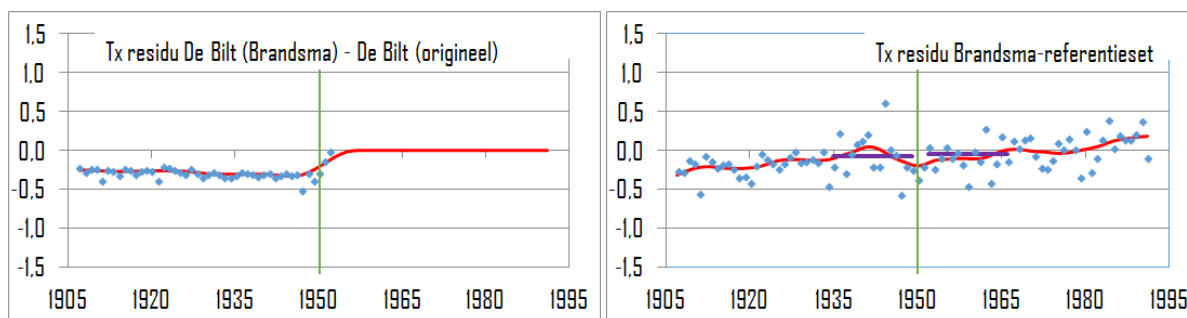
Vergelijking Tx De Bilt met Tx van de referentieset.



Figuur 30. Tx van De Bilt en van de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar. $\Delta Tx = 0,29 \pm 0,13$ °C over de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1970.

Figuur 30 toont dat ná 1950 de data van De Bilt goed in de pas lopen met de referentieset. De referentieset is daarom representatief voor vergelijking met De Bilt. Tx in De Bilt is relatief $0,29 \pm 0,13$ °C hoger dan de referentieset in het interval 1931-1949. De parallelmetingen (zie hoofdstuk 3) tonen een gemiddeld Tx-verschil voor de hutwisseling van $0,12$ °C over het interval april 1947 - augustus 1950. Het gemiddelde Tx-verschil tussen De Bilt en de referentieset over dit interval is $0,18$ °C en dit verschilt niet significant van het verschil dat de parallelmetingen aangeven.

De vraag is daarom of de breukcorrectie die het KNMI op Tx De Bilt heeft toegepast gelijk is aan de bovengenoemde instrumentele breuk ($-0,29 \pm 0,13$ °C). Figuur 31 toont de feitelijk toegepaste correctie, die wordt vergeleken met de referentieset.

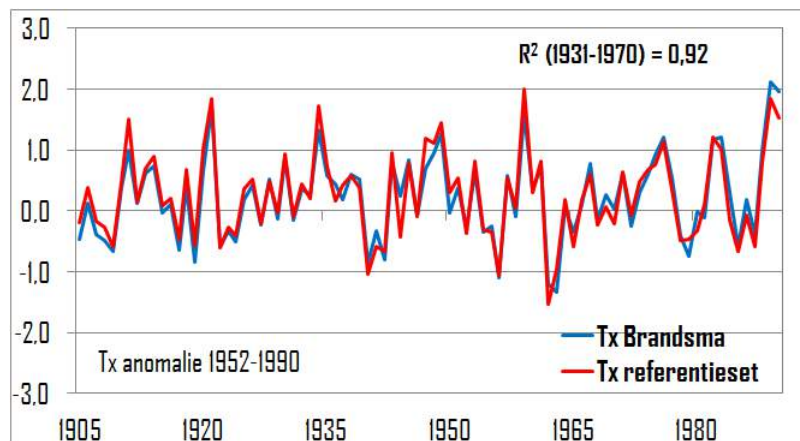


Figuur 31. Links: de toegepast breukcorrectie van het KNMI (blauwe dots). De breukcorrectie is variabel en bedraagt gemiddeld $-0,32 \pm 0,013$ °C in het interval 1931-1949. Rechts: de gehomogeniseerde Tx De Bilt minus Tx van de referentieset. De paarse lijnen stellen de gemiddelde residuen voor in de intervallen 1931-1949 en 1952-1970; het niveauverschil is nihil ($-0,03 \pm 0,08$ °C).

¹⁴ Standaardfout van het verschil tussen twee gemiddelden:

$$\sigma_{M_1 - M_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

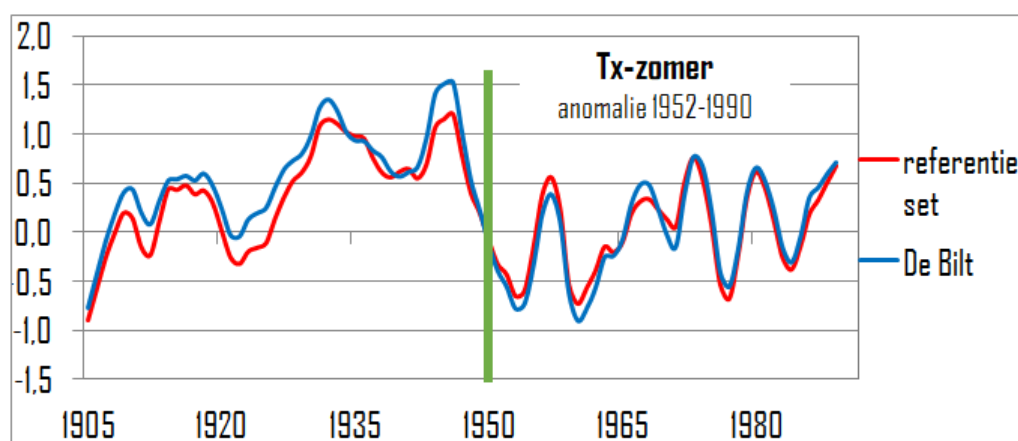
Figuur 31-links toont de correcties die het KNMI heeft toegepast op Tx. De correctie is variabel; in het interval 1931-1949 is de door het KNMI toegepaste correctie gemiddeld $-0,32 \pm 0,013$ °C. Figuur 31-rechts toont het resultaat van deze correctie op Tx De Bilt. De instrumentele breuk is vrijwel volledig gecompenseerd. De homogenisatie heeft niet geleid tot onder- of overcorrectie, althans wat de jaargemiddelden van Tx in het interval 1931-1970 betreft. De gehomogeniseerde Tx in De Bilt matcht goed met Tx van de referentieset, zoals Figuur 32 toont.



Figuur 32: de gehomogeniseerde jaargemiddelde Tx De Bilt en Tx van de referentieset.

Vergelijking Tx-zomer De Bilt met de referentieset

De invloed van de homogenisatie van de temperatuur van De Bilt is het grootst in de zomermaanden. Het technische rapport (Brandsma 2016a) stelt: *“For Tx large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles”*. Het is daarom van belang om de Tx-zomer van De Bilt te vergelijken met die van de referentieset. Tx-zomer is de gemiddelde maximale dagtemperatuur in de zomermaanden mei t/m september.

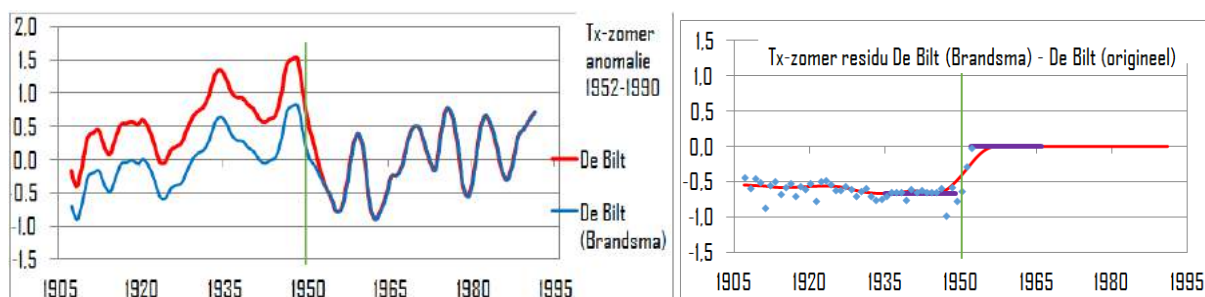


Figuur 33. Tx-zomer (°C, anomalie van het gemiddelde over 1952-1990) van De Bilt en de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar. $\Delta Tx\text{-zomer} = 0,22 \pm 0,09$ °C over de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1970.

Figuur 33 toont de resultaten van deze vergelijking. Vóór 1950 is Tx-zomer in De Bilt relatief hoger. De trendbreuk $\Delta Tx\text{-zomer}$ in De Bilt is gemiddeld $0,22 \pm 0,09$ °C.

In Figuur 34 evalueren we de door het KNMI toegepaste breukcorrectie op Tx-zomer. Tx-zomer van de gehomogeniseerde reeks van De Bilt is in het interval 1952-1991 uiteraard identiek aan dat van de

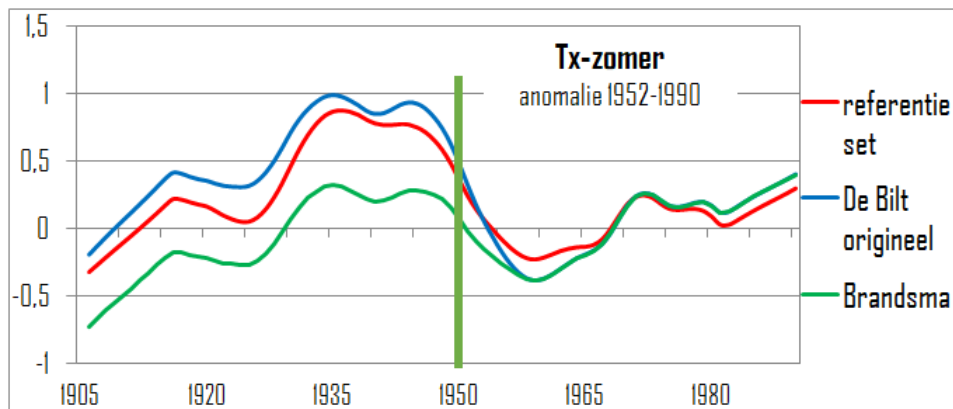
ongehomogeniseerde Tx-zomer van De Bilt; de homogenisatie-correctie was alleen toegepast op het interval 1901 - september 1951. De breukcorrectie voor Tx-zomer De Bilt bedraagt $0,67 \pm 0,02$ °C:



Figuur 34 Links: Tx-zomer (°C, anomalie van het gemiddelde over 1952-1990) van De Bilt en de gehomogeniseerde Tx De Bilt, Loess-gefilterd met span 8 jaar. Rechts: de verschilreeks van de grafieken in het linker plaatje. De paarse lijnen zijn de gemiddelde residuen in de intervallen 1931-1949 en 1952-1970; het niveauverschil is $0,67 \pm 0,02$ °C: de door Brandsma toegepaste correctie.

Figuur 34 toont dat de homogenisatie tot gevolg heeft dat Tx-zomer in het interval 1907-1950 een stuk lager is dan Tx-zomer van de referentieset. Volgens vergelijking met de referentieset was de benodigde breukcorrectie $-0,22$ °C (Figuur 33) maar de breukcorrectie van Brandsma is $-0,67$ °C (Figuur 34-rechts). Dat wijst op een *flinke overcorrectie* van $-0,45$ °C.

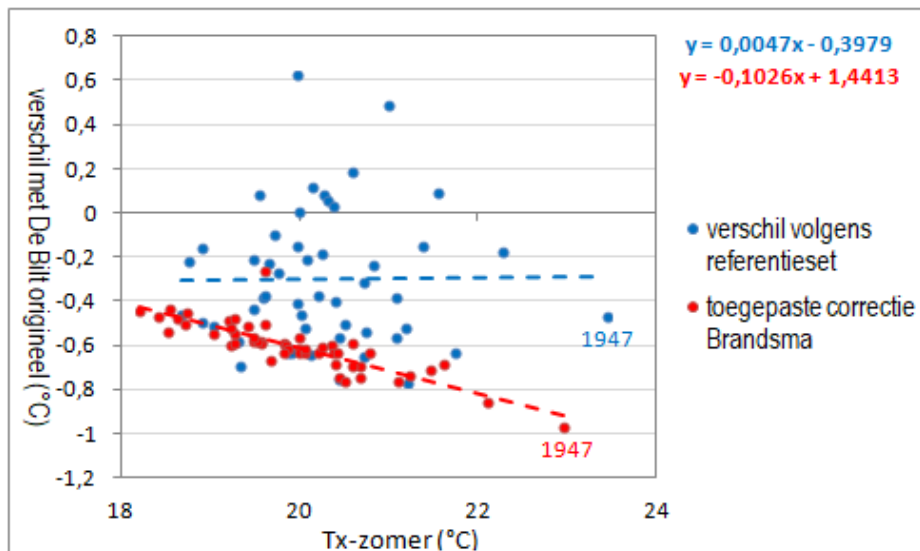
Om de grootte van de toegepaste breukcorrectie te evalueren vergelijken we de gehomogeniseerde Tx-zomer van Brandsma met de Tx-zomer van de referentieset en nemen we een grotere span van het Loess-filter om de visuele inspectie te vereenvoudigen.



Figuur 35 Tx-zomer (°C anomalie van 1952-1990) van de door Brandsma gehomogeniseerde De Bilt (groen), de originele De Bilt (blauw) en de referentieset(rood) , Loess-gefilterd met span 20 punten.

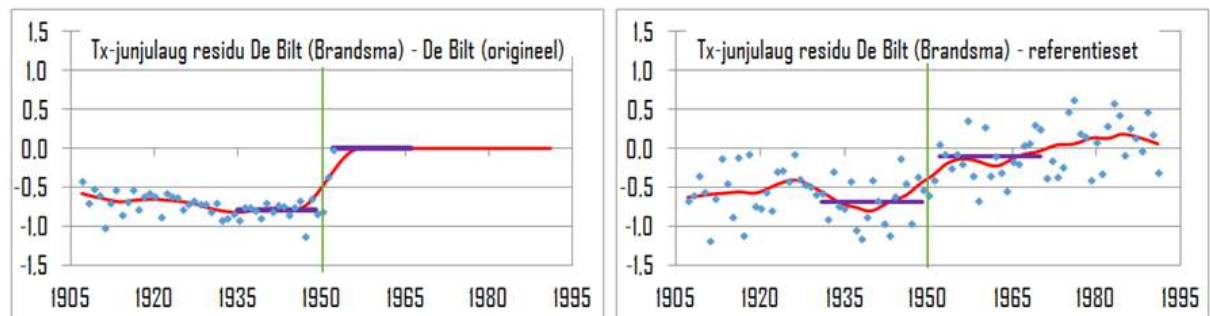
Figuur 35 toont dat de breukcorrectie van Brandsma voor Tx-zomer leidt tot een groot verschil met Tx-zomer van de referentieset in het interval 1907-1949. Dit in tegenstelling tot de breukcorrectie van Tx, getoond in Figuur 31, die vrijwel geen verschil oplevert met de referentieset.

Opmerkelijk is dat de trendbreuk van Tx-zomer in De Bilt ($\Delta Tx = 0,22 \pm 0,09$ °C, Figuur 33) vrijwel even groot is als die van Tx ($\Delta Tx = 0,29 \pm 0,13$ °C, Figuur 30). Maar de breukcorrecties van het KNMI zijn temperatuurafhankelijk: $0,32 \pm 0,013$ °C voor Tx en $0,67 \pm 0,02$ °C voor Tx-zomer. Wat ook opvalt is dat 1947, oorspronkelijk een recordzomer, met 1 °C is verlaagd en 1911, eveneens een warme zomer, met 0,86 °C. Waarom de door het KNMI gevolgde homogenisatieprocedure recordwarme zomers relatief veel meer verlaagt dan andere jaren is ons niet duidelijk geworden.



Figuur 36: jaargemiddelde verschillen (°C, anomalie 1952-1970) van de gehomogeniseerde Tx-zomer in De Bilt met de originele Tx-zomer van De Bilt en idem die van de referentieset. Het betreffende jaar (1947) van de grootste verschillen is aangegeven bij de dot (blauw 1947: -0,35; rood 1947: -0,97 °C).

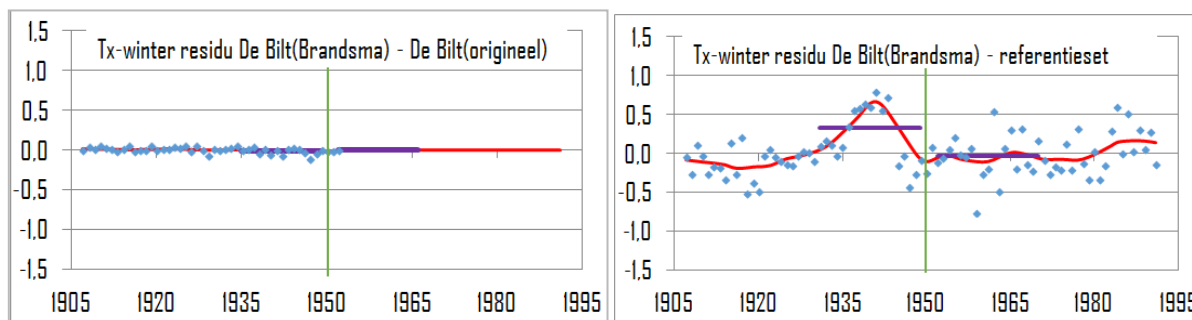
Figuur 36 toont de temperatuurafhankelijke correctie van Brandsma, die groter is bij hogere temperatuur, wat niet gesteund wordt door vergelijking met de referentieset. Als we de zomermaanden tot de warmste maanden juni, juli en augustus beperken dan is de overcorrectie nog groter, zoals Figuur 37 laat zien.



Figuur 37 Links: de door Brandsma toegepaste breukcorrectie op de gemiddelde Tx van juni, juli en augustus. De correctie bedraagt gemiddeld $-0,80 \pm 0,03$ °C. Rechts: gevolg van deze correctie: het verschil met de referentieset is gemiddeld $0,58 \pm 0,15$ °C over de paars gemarkeerde intervallen

De overcorrectie is nu groter: gemiddeld $0,58 \pm 0,15$ °C over de periode 1931-1970. De benodigde negatieve correctie was echter niet 0,80 °C maar $0,80 - 0,58 = 0,22$ °C. De parallelmetingen (hoofdstuk 3) geven een gemiddeld verschil aan voor de hutwisseling van 0,37 °C over de maanden juni, juli en augustus van 1947-1950. Over dit interval is het verschil tussen de originele data van De Bilt en de referentieset 0,33 °C (beide reeksen als anomalie 1952-1970), dus dat komt goed overeen. De parallelmetingen komen ruwweg overeen met de referentieset maar niet met de gehomogeniseerde reeks van Brandsma.

In de wintermaanden (november t/m maart) daarentegen is de door het KNMI toegepaste correctie op Tx marginaal, waardoor de wintermaanden een ondercorrectie vertonen in vergelijking met de referentieset:



Figuur 38 Links: de door het KNMI toegepaste correctie op Tx-winter ($-0,01 \pm 0,01$ °C). Rechts: verschil tussen Tx-winter van de gehomogeniseerde De Bilt en de referentieset. Het niveauverschil tussen de paarse horizontale lijnen is $0,37 \pm 0,14$ °C.

Figuur 38-rechts toont dat de ondercorrectie alleen geldt voor het interval 1931-1944.

T	ΔT_x volgens referentieset	Breukcorrectie KNMI
Tx	$-0,29 \pm 0,13$	$-0,32 \pm 0,01$
Tx-zomer	$-0,22 \pm 0,09$	$-0,67 \pm 0,02$
Tx-jul/jun/aug	$-0,22 \pm 0,09$	$-0,80 \pm 0,03$
Tx-winter	$+0,37 \pm 0,14$	$-0,01 \pm 0,01$

Tabel 7 Kolom 2 en 3: grootte van de instrumentele breuk ΔT_x (°C) in De Bilt volgens vergelijking met de referentie set. Kolom 3: de door het KNMI toegepaste correctie voor de instrumentele breuk.

Op basis van deze resultaten in Tabel 7 kunnen we concluderen dat de homogenisatie door het KNMI een *aanzienlijke overcorrectie* heeft opgeleverd in de zomermaanden en een *ondercorrectie* in de wintermaanden.

Conclusies

1. De trendbreuk in Tx in De Bilt, die volgens het KNMI veroorzaakt zou zijn door instrumentele veranderingen rond 1950, valt in het interval van een klimatologische neergang die zich voordeed in een groter deel van NW Europa tussen 1947 en 1956. Door de verschilreeksen te nemen van De Bilt met representatieve ensembles van andere stations werd bevestigd dat er zich in De Bilt inderdaad een residuele trendbreuk in Tx voordeed: Tx in De Bilt is vóór 1950 relatief te hoog. Hierbij werden twee vergelijkingsensembles gebruikt, het ene bestaande uit de gemiddelde Tx van 7 Duitse stations (het D-ensemble) en het andere uit de gemiddelde Tx van 3 nabijgelegen Duitse stations en 3 geschikte Nederlandse stations (de referentieset).
2. Voor de homogenisatie van De Bilt heeft het KNMI slechts één meetstation gebruikt: Eelde, waarvan maar vier hele jaren vóór 1950 beschikbaar waren en bovendien een relatief lage Tx vertoont. Beek ligt daarom meer voor de hand gezien het geringe temperatuurverschil. Daardoor zijn er twijfels of de homogenisatie met uitsluitend Eelde als referentie wel representatief is.
3. Om de door het KNMI toegepaste neerwaartse correcties op Tx De Bilt vóór 1950 te evalueren hebben we in deze studie een ruwe schatting gemaakt van de benodigde breukcorrectie. Die schatting kwam tot stand door vergelijking van de ongehomogeniseerde en gehomogeniseerde reeksen van De Bilt met de referentieset. Daarbij werden de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1990 gebruikt. De referentieset is representatief omdat deze het temperatuurverloop in De Bilt na 1952 in grote mate reproduceert.

4. Voor de jaargemiddelde Tx bleek de geschatte instrumentele breuk niet significant te verschillen van de door het KNMI toegepaste Tx correctie. De KNMI Tx correctie voor de wintermaanden (november t/m maart) is nihil waardoor deze een sterke ondercorrectie vertoont in vergelijking met het D-N ensemble. De KNMI Tx correctie voor de zomermaanden (mei t/m september) is daarentegen weer veel te groot: er is sprake van een overcorrectie van ruim 200%. Voor de drie warmste zomermaanden (juni, juli, augustus) loopt de overcorrectie zelfs op tot ruim 260%. Daarbij is ook gevonden dat de jaargemiddelde Tx in record warme jaren (1947 en 1911) door het KNMI relatief sterker naar beneden werden bijgesteld, hetgeen niet wordt gesteund door onze vergelijking met het referentie-ensemble.
5. De grootte van de breukcorrectie van het KNMI blijkt temperatuurafhankelijk te zijn, maar vergelijking van De Bilt met de referentieset rechtvaardigt niet dat hogere temperaturen een hogere neerwaartse correctie nodig hebben. Vooral recordwarme jaren, zoals 1947, zijn sterk neerwaarts gecorrigeerd.

7 Effect van de keuze vergelijkingsstation op de homogenisatie

Het KNMI (Brandsma 2016a) heeft gekozen voor Eelde als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de dagelijkse temperaturen van De Bilt. Voor Eelde is een homogene reeks beschikbaar vanaf 1 januari 1946, maar dit station ligt 147 km ten noordoosten van De Bilt. Andere stations met metingen die teruggaan tot 1946 of eerder en die dichterbij De Bilt liggen zijn: Gemert (65 km), Oudenbosch (75 km) en Winterswijk (105 km), maar die reeksen zijn door instrumentele veranderingen niet homogeen. Toch zijn deze stations wel gebruikt bij de constructie van de CNT-reeks (Van der Schrier c.s., 2011). Vliegveld Beek ligt iets dichterbij De Bilt dan Eelde (138 km). Van Beek is ook een homogene reeks beschikbaar vanaf 1 januari 1946.

Het KNMI motiveert haar keuze voor Eelde als volgt (KNMI, 2018): *“Eelde is beter geschikt als parallel station dan Beek.... Dit heeft te maken met de afwijkende hoogteligging van Beek (114 m boven Nap) en de directe nabijheid van het Maasdal. Daarnaast is voor de overheersende windrichting in Nederland (ZW-W) de afstand van De Bilt en Eelde tot grote wateroppervlakken vergelijkbaar.”*

Het KNMI heeft blijkbaar niet onderzocht hoe groot het effect van het hoogteverschil en de nabijheid van het Maasdal is. Het is waar dat De Bilt en Eelde bij de overheersende ZW-wind beter vergelijkbaar zijn, de stations liggen bij ZW-wind althans in elkaars verlengde. Maar het doel van de homogenisatie van het KNMI was mede om iets te doen aan het probleem van het grote aantal hittegolven vóór 1950 (Brandsma 2016a). Tijdens hittegolven is de overheersende windrichting niet ZW maar vaak ZO, en dan zou Beek beter geschikt kunnen zijn als vergelijkingsstation. De vraag moet dus gesteld worden wat het effect is van de keuze van geschikte alternatieve vergelijkingsstations.

Aangezien we hier alleen de referentieperiode 1946-1955 gebruiken voor de homogenisatie van De Bilt kunnen we vergelijkingsstations gebruiken die in ieder geval binnen deze periode geen homogenisaties hebben ondergaan. In H6 zagen we dat er vijf Nederlandse stations beschikbaar zijn met een meetreeks die tenminste de periode 1946-1955 omvat en geen homogenisaties hebben ondergaan, namelijk Oudenbosch, Gemert, Winterswijk, Eelde en Beek.

Uit vergelijking met het Duitse ensemble bleek in H6 dat Gemert een grote trendbreuk vertoont rond 1950, een breuk die eveneens door het KNMI gerapporteerd is. Het KNMI signaleerde voor Oudenbosch trendbreuken in 1966 en 1984 als gevolg van relocatie. Oudenbosch zou dus in principe wel in aanmerking kunnen komen als vergelijkingsstation omdat we ons beperken tot 1946-1955. In H6 bleek echter dat Oudenbosch grote trendafwijkingen vertoont in vergelijking met het Duitse ensemble. Om die reden werd Oudenbosch niet opgenomen in de referentieset. Als we in hoofdstuk 6 Figuur 26-rechts het Tx residu van Oudenbosch echter vergelijken met dat van Eelde tussen 1946 en 1955 dan wijken deze stations binnen deze periode weinig van elkaar af: het verschil tussen het gemiddelde 1946-1949 en het gemiddelde 1952-1955 is 0,16 °C. Voor Eelde is dit 0,22 °C. Het verschil is dus zeer klein. Omdat bovendien het KNMI voor Oudenbosch geen breuk heeft gedetecteerd rond 1950 kan voor ons doel hier Oudenbosch wel meegenomen worden als vergelijkingsstation.

Voor Winterswijk heeft het KNMI kleine inhomogeniteiten gevonden in 1940, 1950 en 1960. In Figuur 26A-rechts van H6 zien we dat het verloop tussen 1946 en 1955 relatief groot is (0,26 °C). In hoofdstuk 4 werd geconcludeerd dat de verschillen wel relevant zijn als alleen de kleine 4-jaars intervallen rond 1950 worden beschouwd; voor grotere vergelijkingsintervallen, zoals die in hoofdstuk 6 worden gebruikt (1931-1949 en 1952-1970) is het verschil met het Duitse ensemble marginaal (0,08 °C). Hoewel Winterswijk niet als het meest representatieve vergelijkingsstation geldt voegen we hem hier wel toe aan de lijst van vergelijkingsstations om te zien of dit station sterk afwijkende resultaten geeft ten opzichte van de andere vergelijkingsstations.

Tenslotte nemen we ook de referentieset mee. Deze referentieset bevat naast de bovengenoemde stations Eelde, Beek en Winterswijk ook de meest nabijgelegen Duitse stations Aachen, Solingen en Münster. Deze drie Duitse stations liggen niet veel verder van De Bilt dan Eelde. Bij hittegolven komt de wind vaak uit Duitsland, zodat de nabijgelegen Duitse stations wel relevant kunnen zijn voor Brandsma's probleemstelling.

Werkwijze

We hebben het effect van de keuze van het vergelijkingsstation onderzocht door de PMM toe te passen, zoals beschreven in hoofdstuk 4, met parallelle data voor alle stations waarvoor in de periode 1946-1955 daggegevens beschikbaar zijn. Dat zijn behalve de bovengenoemde Nederlandse stations Eelde, Beek, Oudenbosch en Winterswijk ook het meest nabijgelegen Duitse station Aachen en het Duits-Nederlandse ensemble.

Voor het vergelijken van het effect van de keuze van alternatieve vergelijkingsstations gebruiken we twee criteria:

- (1) het aantal tropische dagen in de periode 1906-1950 als percentage van het aantal tropische dagen in de periode 1906-2016
- (2) de gemiddelde correctie die Tx ondergaat als gevolg van de homogenisatie

Resultaten

Uit Tabel 8 blijkt dat de keuze van het vergelijkingsstation van grote invloed is op het aantal tropische dagen dat men vindt na homogenisatie van de data van De Bilt: bij een span van 0,6 (zoals Brandsma zegt te gebruiken) varieert het van 30,0% (Eelde) tot 41,1% (Aachen). Die percentages liggen ver boven de uitkomst van de homogenisatie van het KNMI met Eelde als vergelijkingsstation (26,4%). Maar daarbij is in feite een span van 0,75 gebruikt door een extra voortschrijdende middeling over driemaandelijke perioden.

Met een span van 0,75 vinden we percentages tropische dagen in De Bilt variërend van 29,7% (Eelde) tot 42,7% (Aachen). Met geen enkel alternatief vergelijkingsstation vinden wij van 1906-1950 zo weinig tropische dagen als het KNMI vindt met Eelde als vergelijkingsstation (26,4%).

		tropische dagen 1906-1950 / 1906-2016		gemiddelde correctie Tx 1906-1950	
Vergelijkingsstation(s)	Afstand tot De Bilt (km)	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6	Span 0,75
Eelde (Brandsma)	147	26,4%		-0,29	
Eelde (reconstructie Brandsma)	147	30,0%	29,7%	-0,36	-0,36
Beek	138	38,3%	38,3%	-0,09	-0,09
Winterswijk	105	35,0%	33,2%	-0,41	-0,41
Oudenbosch	75	35,8%	35,4%	-0,32	-0,32
Aachen	159	41,1%	40,9%	-0,02	-0,02
Referentieset		38,5%	37,6%	-0,14	-0,15

Tabel 8 Effect van representatieve vergelijkingsstations en span van de smoothing op homogenisatie Tx De Bilt.

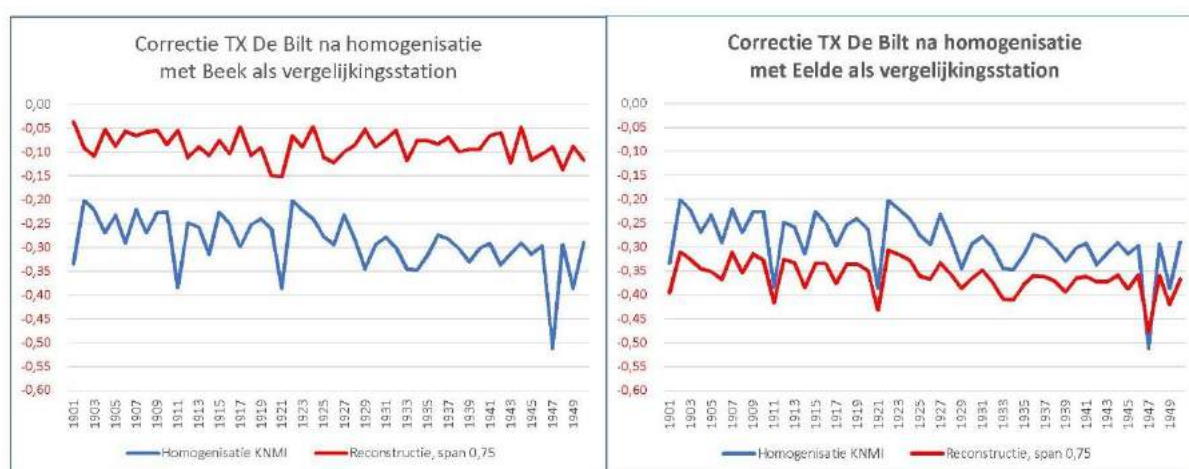
De keuze voor een span van 0,6 of 0,75 heeft in een aantal gevallen vrijwel geen invloed op het aantal tropische dagen, in een aantal andere gevallen is het verschil 1 tot 2 procentpunten, maar voor sommige stations in tegengestelde richtingen: het is niet altijd zo dat een hogere span tot meer

tropische dagen leidt.

Kijken we naar de uitkomst van de referentieset dan is het percentage tropische dagen van dezelfde orde van grootte als van de Nederlandse stations. Het percentage tropische dagen voor 1951 voor de meeste Nederlandse stations, varieert van 35-38%. Dit stemt overeen met wat Dijkstra (2017) vond voor de gehomogeniseerde data van de KNMI-hoofdstations. De homogenisatie met Eelde als vergelijkingsstation wijkt duidelijk af van die met alle andere stations, maar toch vinden wij met Eelde niet zo weinig tropische dagen als het KNMI.

Gemiddelde correctie Tx

De gemiddelde correctie van Tx door de homogenisatie varieert van $-0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, afhankelijk van het onderzochte vergelijkingsstation zoals vermeld in Tabel 8. Dit lijkt geen groot verschil, maar bij de hoogste percentielen lopen de grootste correcties op tot meer dan $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Brandsma vindt zelfs correcties van $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ voor de hoogste percentielen in augustus.



Figuur 39 Effect van de keuze voor Eelde of Beek als vergelijkingsstation op correctie Tx voor De Bilt

Figuur 39 toont hoe de homogenisatie uitwerkt voor de tijdreeks van de jaargemiddelden van Tx. De blauwe lijnen in de beide grafieken geven de correcties van de homogenisatie van het KNMI met Eelde als vergelijkingsstation. De rode lijnen geven onze reconstructies van de homogenisatie met Eelde dan wel Beek als vergelijkingsstation. Enige zaken vallen hierin op:

- (1) Onze reconstructie met Eelde als vergelijkingsstation komt gemiddeld lager uit dan die van het KNMI ($-0,36$ versus $-0,29$ bij het KNMI), terwijl onze reconstructie wel tot meer tropische dagen leidt dan de homogenisatie van het KNMI (zie Tabel 8).
- (2) De variatie tussen de jaren is bij het KNMI groter dan in onze reconstructie, met als grootste uitschieter het jaar 1947, waar het KNMI de gemiddelde Tx tweemaal zo sterk corrigeert als in onze reconstructie.
- (3) Onze homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation komt gemiddeld hoger uit dan die van het KNMI ($-0,09$ versus $-0,29$ bij het KNMI).
- (4) De variatie tussen de jaren is bij onze homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation kleiner dan met Eelde als vergelijkingsstation. Het jaar 1947 springt er bij homogenisatie met Beek niet meer uit.

Effect van andere Nederlandse en Duitse stations.

Wij hebben ook het effect onderzocht van minder representatieve en niet-representatieve vergelijkingsstations met als doel om de uitkomsten die de PMM met deze stations oplevert te evalueren.

Gemert is niet representatief gezien de grote trendbreuk rond 1950 (zie Figuur 27 in hoofdstuk 6). De verder gelegen Duitse stations zijn vanwege de afstand mogelijk minder representatief om te gebruiken voor de homogenisatie van De Bilt. Lindenberg ligt bovendien op grote hoogte. Tabel 9 vat de resultaten met deze vergelijkingsstations samen.

		tropische dagen 1906-1950 / 1906-2016		gemiddelde correctie Tx 1906-1950	
Vergelijkingsstation(s)	Afstand tot De Bilt (km)	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6	Span 0,75
Gemert	65	44,0%	44,5%	0,10	0,10
Geisenheim	343	36,4%	36,8%	-0,12	-0,11
Lindenberg	606	25,3%	25,3%	-0,37	-0,38
Potzdarn	542	31,2%	30,7%	-0,13	-0,23
Jena	467	34,1%	34,1%	-0,22	-0,23
Ensemble Duitse stations		36,0%	35,8%	-0,13	-0,14

Tabel 9 Effect van andere vergelijkingsstations en span van de smoothing op homogenisatie Tx De Bilt.

In Tabel 9 zien we dat Gemert tot een positieve correctie van Tx De Bilt leidt en een hoog percentage tropische dagen. Lindenberg leidt tot het laagste percentage. De overige vergelijkingsstations leveren percentages tropische dagen die iets boven of onder de in Tabel 8 genoemde 35-36% liggen. Het Duitse ensemble levert vrijwel dezelfde Tx-correctie op als de referentieset in Tabel 8 en een iets lager percentage tropische dagen.

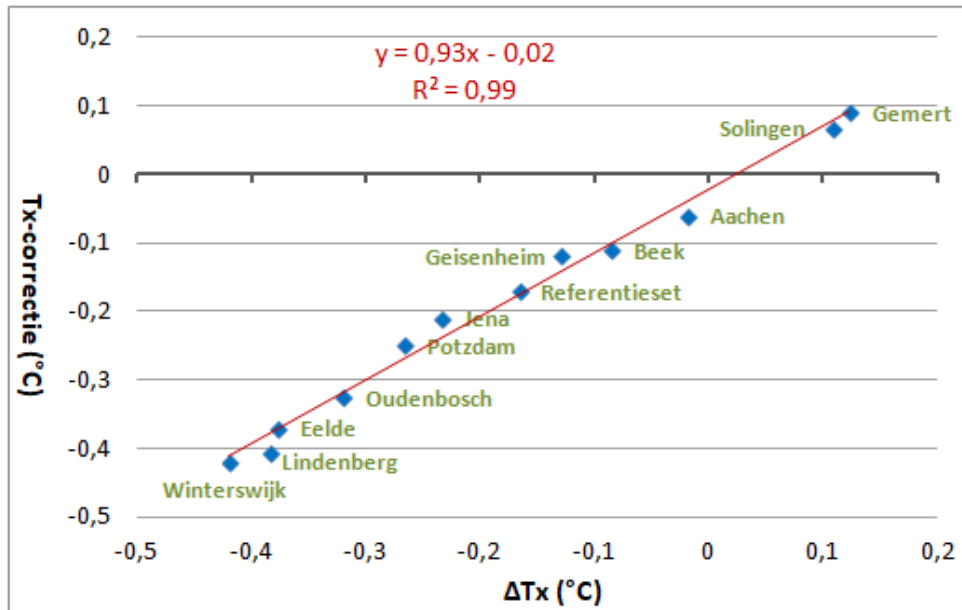
De resultaten in Tabel 9 zijn slechts illustratief en waarschijnlijk niet representatief als homogenisatie van De Bilt, maar kunnen wel gebruikt worden om de resultaten van de PMM met station Eelde te evalueren. Wij onderzochten of er een verband bestaat tussen de gemiddelde Tx correctie (genoemd in Tabel 8 en Tabel 9) en ΔTx .

In Tabel 10 is de Tx-correctie, zoals vermeld in Tabel 8 en Tabel 9, gezet naast ΔTx .

Vergelijkingsstation	afstand tot De Bilt (km)	vergelijkingsinterval (m)	ΔTx	Tx correctie De Bilt	Tropische dagen 1906-1950 De Bilt
De Bilt origineel					152
Gemert	65	48	0,123	0,091	161
Solingen	165	48	0,108	0,069	126
Aachen	159	48	-0,019	-0,059	137
Beek	138	48	-0,086	-0,11	118
Geisenheim	343	48	-0,129	-0,118	116
Jena	467	48	-0,234	-0,21	104
Potzdarn	542	48	-0,267	-0,249	92
Oudenbosch	75	48	-0,321	-0,325	113
Eelde	147	48	-0,377	-0,37	92
Lindenberg	606	48	-0,384	-0,406	68
Winterswijk	105	48	-0,419	-0,42	106
Referentieset	1473	48	-0,166	-0,17	121

Tabel 10 Combinatie van gegevens uit Tabel 8 en Tabel 9. $\Delta Tx = \Delta T1 - \Delta T2$ (zie Figuur 22). De Tx-correctie De Bilt en de aantallen tropische dagen zijn verkregen met de PMM.

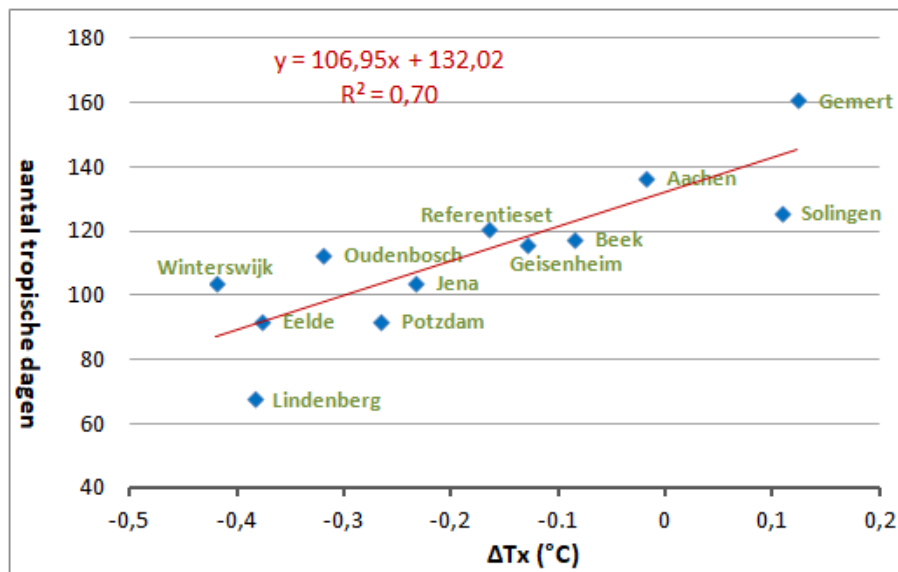
In Figuur 40 is de gemiddelde Tx correctie De Bilt uitgezet tegen ΔT_x :



Figuur 40 Relatie tussen ΔT_x (°C) en de met de PMM verkregen Tx correctie De Bilt voor alle vergelijkingsstations. Gegevens uit Tabel 10.

De vergelijking van de trendlijn in Figuur 40 is bij benadering van de vorm $y = x$. De totale variatie in de met de PMM verkregen Tx-correctie van De Bilt wordt voor 99% verklaard door ΔT_x : het gemiddelde temperatuurverschil tussen De Bilt en het vergelijkingsstation in de vergelijkingsperiode. De grafiek toont hoe sterk de Tx-correctie afhangt van het vergelijkingsstation. De Tx-correctie op basis van vergelijkingsstation Eelde of op basis van Beek verschilt aanzienlijk. Deze grafiek laat zien dat de PMM arbitrair is omdat het resultaat sterk afhankelijk is van de keuze van het vergelijkingsstation.

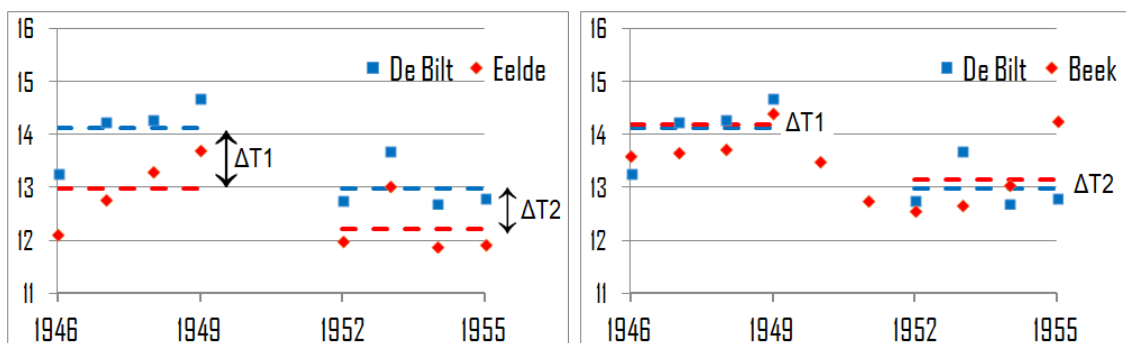
Dat de Tx-correctie van de stations zo mooi op een rechte lijn ligt en direct evenredig is met ΔT_x is onverwacht want in de PMM wordt ΔT_x berekend per maand per percentiel (Tabel 2). Kennelijk wordt de ΔT_x over de maanden, percentielen en jaren sterk uitgemiddeld. In Figuur 41 zien we dat het aantal tropische dagen eveneens afhankelijk is van ΔT_x , hoewel de correlatie minder sterk is.



Figuur 41 Relatie tussen ΔT_x en het aantal tropische dagen De Bilt voor alle vergelijkingsstations. Gegevens uit Tabel 10.

Figuur 42 laat zien waarom het gebruik van referentiestation Eelde tot een veel grotere Tx-correctie leidt dan gebruik van Beek. Dat ligt aan de formule Tx-correctie = $\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$ die weliswaar geldt voor de percentielen per maand maar zoals Figuur 40 toont geldt deze formule bij benadering ook voor de gemiddelden over de hele vergelijkingsintervallen. In Figuur 42 is $(\Delta T_1 - \Delta T_2)$ met Eelde groter dan $(\Delta T_1 - \Delta T_2)$ met Beek.

Uit Figuur 35 van hoofdstuk 6 bleek ook dat de breukcorrectie van het KNMI een aanzienlijke overcorrectie oplevert in vergelijking met de referentieset. Dat ligt aan Eelde als vergelijkingsstation. Zou Aachen of Beek als vergelijkingsstation zijn gebruikt dan zou Tx-zomer hoogstwaarschijnlijk geen overcorrectie opleveren.



Figuur 42 Jaargemiddelde Tx (°C) van De Bilt (origineel), Eelde en Beek in de vergelijkintervallen 1946-1949 en 1952-1956. De horizontale streepjeslijnen zijn de gemiddelden over de beide intervallen.

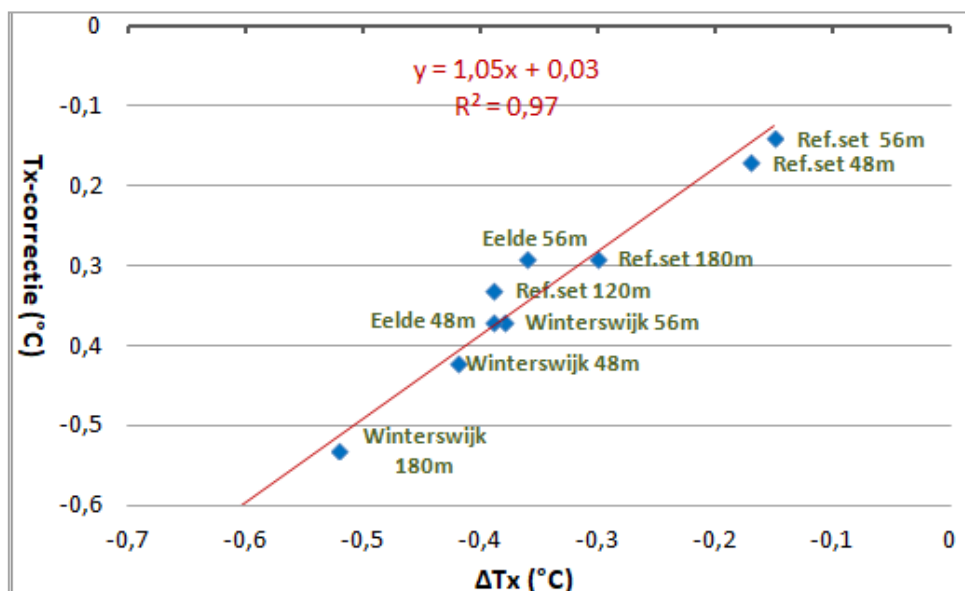
De PMM met Eelde als vergelijkingsstation is nog om een andere reden discutabel omdat de analyse zich noodzakelijkerwijs beperkt tot de beschikbare vergelijkingsperiode (56 maanden). Data van Eelde starten namelijk pas vanaf 1946. Maar Tx varieert sterk over de jaren en dus ook ΔT_x . Tabel 11 geeft het resultaat bij verschillende vergelijkingsperioden.

Referentiestation	Vergelijkings-Interval (m)	ΔT_x	Tx-correctie	Aantal tropische dagen
De Bilt (origineel)	48			152
Eelde	48	-0,377	-0,37	92
Eelde	56	-0,302	-0,29	88
Winterswijk	48	-0,42	-0,42	106
Winterswijk	56	-0,39	-0,37	104
Winterswijk	120	-0,619	-0,64	97
Winterswijk	180	-0,52	-0,53	108
Referentieset	48	-0,166	-0,17	121
Referentieset	56	-0,151	-0,14	112
Referentieset	120	-0,403	-0,33	142
Referentieset	180	-0,362	-0,29	176

Tabel 11 Invloed van de lengte van het vergelijkingsinterval (maanden) op ΔT_x , Tx-correctie en aantal tropische dagen.

Het maakt dus nogal wat uit voor de Tx-correctie en het aantal tropische dagen welke vergelijkingsperiode wordt genomen. Behalve dat de PMM methode de keuze toelaat voor een bepaald vergelijkingsstation laat het ook de keuze vrij voor welke vergelijkingsperiode men kiest. Dat maakt de methode wel erg arbitrair.

Als we de in Tabel 11 gegeven Tx-correctie uitzetten tegen ΔT_x krijgen we Figuur 43.



Figuur 43 Relatie tussen de Tx-correctie en ΔTx van vergelijkingsstation bij verschillende vergelijkingsperioden. Gegevens uit Tabel 11

Het verband tussen Tx-correctie en ΔTx is vrijwel 1:1. Het is overigens niet geheel onverwacht dat dit verband wordt gevonden: of men nu verschillende vergelijkingsstations neemt of verschillende vergelijkingsperioden, de berekening van de Tx-correctie is alleen afhankelijk van de relatieve temperatuurverschillen $\Delta T_1 - \Delta T_2$.

Discussie

De grootte van de correctie van Tx in De Bilt is sterk afhankelijk van het vergelijkingsstation. De uitkomst van de PMM is, wat de jaargemiddelden betreft, vrijwel gelijk aan ΔTx , het verschil tussen De Bilt en het vergelijkingsstation over de beide intervallen van de vergelijkingsperiode. Omdat geen enkel vergelijkingsstation goed met De Bilt is te vergelijken en het temperatuurverschil grote fluctuaties vertoont, is de uitkomst van de PMM sterk afhankelijk van arbitraire keuzen voor het vergelijkingsstation en voor de lengte van de vergelijkingsintervallen.

Een beperking van vergelijkingsstation Eelde is dat er maar 4 jaar vóór 1950 beschikbaar zijn als vergelijkingsinterval. Gezien de variabiliteit van Tx van jaar tot jaar en daarmee ook de ΔTx over verschillende vergelijkingsintervallen kan de homogenisatie met Eelde als niet representatief worden beschouwd.

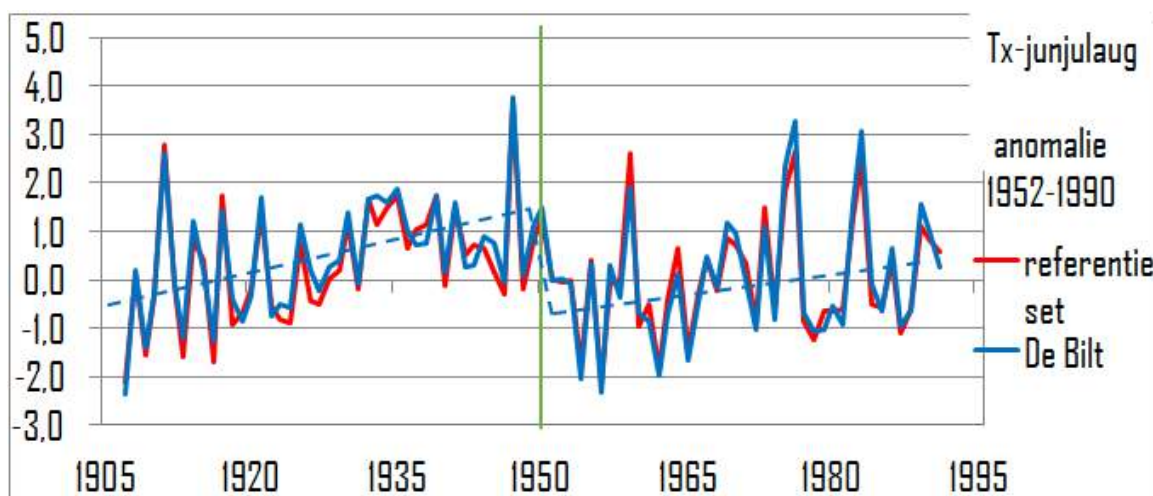
Een andere beperking van vergelijkingsstation Eelde is dat het leidt tot een grote overcorrectie van Tx in de zomermaanden in De Bilt. Dat komt omdat de Tx-zomer in Eelde relatief koel is in vergelijking met andere vergelijkingsstations. Andere vergelijkingsstations zoals Beek, Aachen en de referentieset leiden niet tot overcorrectie.

Bij deze conclusies past nog een voorbehoud: zoals blogger Michiel¹⁵ opmerkt is de PMM een puur statistische methode die geen rekening houdt met verschillende meteorologische omstandigheden. Het opwarmende effect van de pagode is vooral te verwachten op dagen met hoge zonnestand en weinig wind. De PMM houdt daar geen rekening mee en past op bewolkte, winderige, maar relatief warme dagen dezelfde correctie toe als op zonnige dagen met weinig wind met dezelfde temperatuur. Het is twijfelachtig of dit wetenschappelijk verantwoord is.

De methode van Visser (2007), die de grootte van de instrumentele breuk schatte door trendlijnen te trekken door de perioden voor en na 1950 (zie Figuur 21) is uiteraard onjuist. Daarom hopen we met

¹⁵ <https://www.weerwoord.be/m/2227437>

onderstaande Figuur 44 het misverstand uit de weg te ruimen. Het niveauverschil tussen de blauwe trendlijnen (De Bilt) rond 1950 is $\sim 2,1$ °C. Dat is wel de trendbreuk maar niet de instrumentele breuk in De Bilt. De referentieset vertoont namelijk een vergelijkbare, iets kleinere trendbreuk.



Figuur 44: de methode van Visser (2007) voor het bepalen van de grootte van de trendbreuk

De formule $\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$ voor de Tx correctie is eveneens discutabel. Die reden is de veronderstelling dat de temperatuurverschillen tussen nabijgelegen stations in de intervallen voor en na 1950/51 gemiddeld genomen gelijk zijn, zodat ΔT_x kan worden toegeschreven aan een trendbreuk als gevolg van instrumentele veranderingen. Die veronderstelling is onjuist want ΔT_x voor Beek en voor Eelde verschillen sterk van elkaar (zie Tabel 10). Maar beide stations zijn wel homogeen. De regionale klimatologische neergang rond 1950 kan voor Beek iets anders uitpakken dan voor Eelde; er zijn aanwijzingen dat bij hogere temperaturen Beek relatief wat warmer is dan Eelde.

Dus de veronderstelling dat 100% van de ΔT te wijten is aan de instrumentele trendbreuk is onjuist. De formule moet zijn: Tx-correctie = $\alpha \Delta T_x$, waarin α een ongespecificeerde grootte is, niet gelijk aan 1 (zoals Brandsma impliciet veronderstelt) en verschillend per referentiestation en per lengte van de referentieperiode.

Conclusies

1. Het resultaat van de *percentiel matching methode* is sterk afhankelijk van de keuze van het vergelijkingsstation en van de keuze van het vergelijkingsinterval.
2. Bovenstaande, gevoegd bij de constatering dat het resultaat ook afhankelijk is van statistische procedures (percentielkeuze, smoothing) maakt de methode hoogst arbitrair.
3. Voor het bepalen van noodzakelijke correcties voor De Bilt op hete dagen ligt Beek als vergelijkingsstation meer voor de hand dan Eelde omdat tijdens hete zomerperioden de heersende windrichting in De Bilt niet ZW is maar Z/ZO.
4. Een 'beste' vergelijkingsstation dat in alle maanden en bij alle windrichtingen beter is dan de andere bestaat niet. De correctie voor De Bilt hangt af van de temperatuurontwikkeling bij een vergelijkingsstation in de vergelijkingsperiode en die ontwikkeling varieert sterk per vergelijkingsstation en per tijdsinterval.
5. Een ander bezwaar tegen het gebruik van Eelde is dat er maar 4 hele jaren vóór 1950 beschikbaar zijn terwijl blijkt dat vergelijkingsintervallen van verschillende grootten tot aanmerkelijk verschillende homogenisatie-resultaten leiden.

6. De uitkomst van de *percentiel matching methode* op de Tx correctie van De Bilt is, wat de jaargemiddelden betreft, bijna exact gelijk aan het gemiddelde temperatuurverschil tussen het vergelijkingsstation en De Bilt over de beide vergelijkingsintervallen.
7. De aanname in de *percentiel matching methode*, dat Tx-correctie = $\Delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2$, is onjuist. Dat moet zijn Tx-correctie = $\alpha \Delta T$, want instrumentveranderingen vonden plaats tijdens een regionale temperatuurneergang (vooral duidelijk in Txx/ Tx-zomer) waarop verschillende stations verschillend kunnen reageren.
8. Het KNMI heeft Tx-zomer in De Bilt overgecorrigeerd zoals zowel blijkt uit onze herberekening als uit vergelijking met de referentieset. Dat is een belangrijke reden waarom hittegolven zijn verdwenen.

8 De verdwenen hittegolven

Hoewel geen enkel vergelijkingsstation ‘het beste’ is voor homogenisatie van de data van De Bilt met de PM methode, hebben we in het voorgaande laten zien, dat voor warme dagen beter Beek kan worden gebruikt dan Eelde, vanwege de in warme perioden dominerende windrichtingen tussen Zuid en Oost. Als we op die manier naar de gehomogeniseerde data kijken, dan blijken verschillende verdwenen hittegolven terug te komen.

In Figuur 45 en Figuur 46 zijn de aantallen tropische dagen en zomerse dagen van 1901-2019 weergegeven volgens drie reeksen: de oorspronkelijke reeks van De Bilt, de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie van de homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation. In Figuur 47 zijn de hittegolven weergegeven volgens de drie reeksen. In alle gevallen is de conclusie dat door de homogenisatie van het KNMI de zomerse en tropische dagen voor 1951 te ver zijn teruggebracht. Ook de door het KNMI geclaimde reductie van het aantal hittegolven voor 1951 houdt geen stand: volgens het KNMI zouden slechts 24% (7) van de hittegolven voor 1951 hebben plaatsgevonden, tegen 42% (16) volgens onze herziening. Het lijkt geen twijfel dat de kans op hittegolven van 1901-2019 is toegenomen, maar door de homogenisatie van het KNMI wordt de toename van de trend met ongeveer 45% overschat.

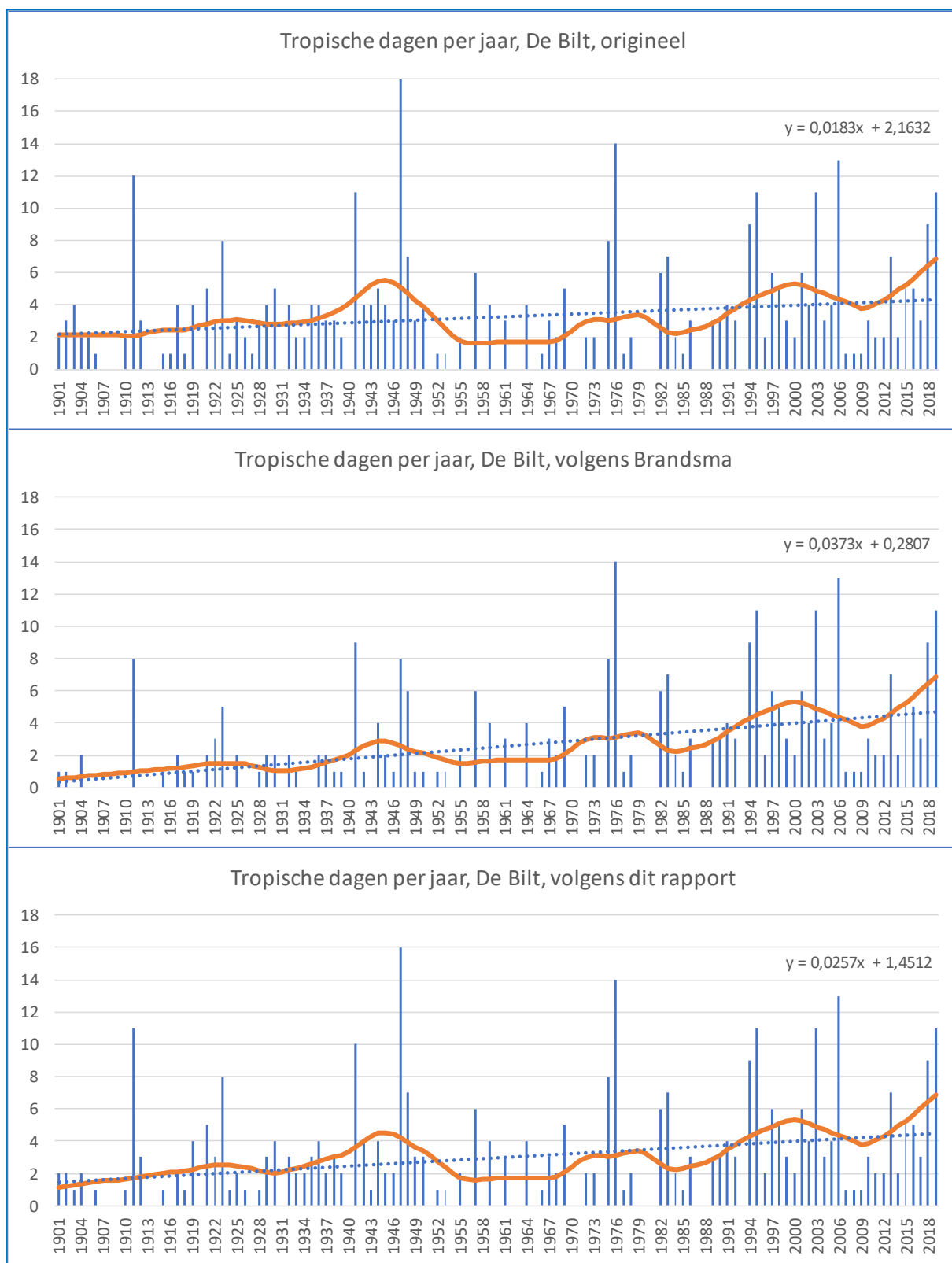
Op 21 augustus 2018 meldden de media dat volgens het KNMI het recordaantal zomerse dagen (51) op die dag zou zijn overschreden. Volgens onze herziening van de gehomogeniseerde reeks stond toen het recordaantal zomerse dagen nog steeds op naam van 1947: 61 en zonder homogenisatie 64. Uiteindelijk kwam 2018 op 13 oktober uit op 55 zomerse dagen, waarmee het record van 1947 volgens onze reconstructie van de homogenisatie niet is overschreden, maar nog 3 dagen onder de werkelijke metingen blijft. Ook na de hete zomer van 2019 blijft 1947 recordhouder van het aantal zomerse en tropische dagen.

Het vermoeden van Dijkstra (2017) dat bij de homogenisatie in De Bilt sprake is van overcorrectie wordt door deze reconstructie bevestigd. Het effect van de pagodehut, die tot 1951 werd gebruikt, en het effect van de verplaatsing in 1951 zijn waarschijnlijk overschat.

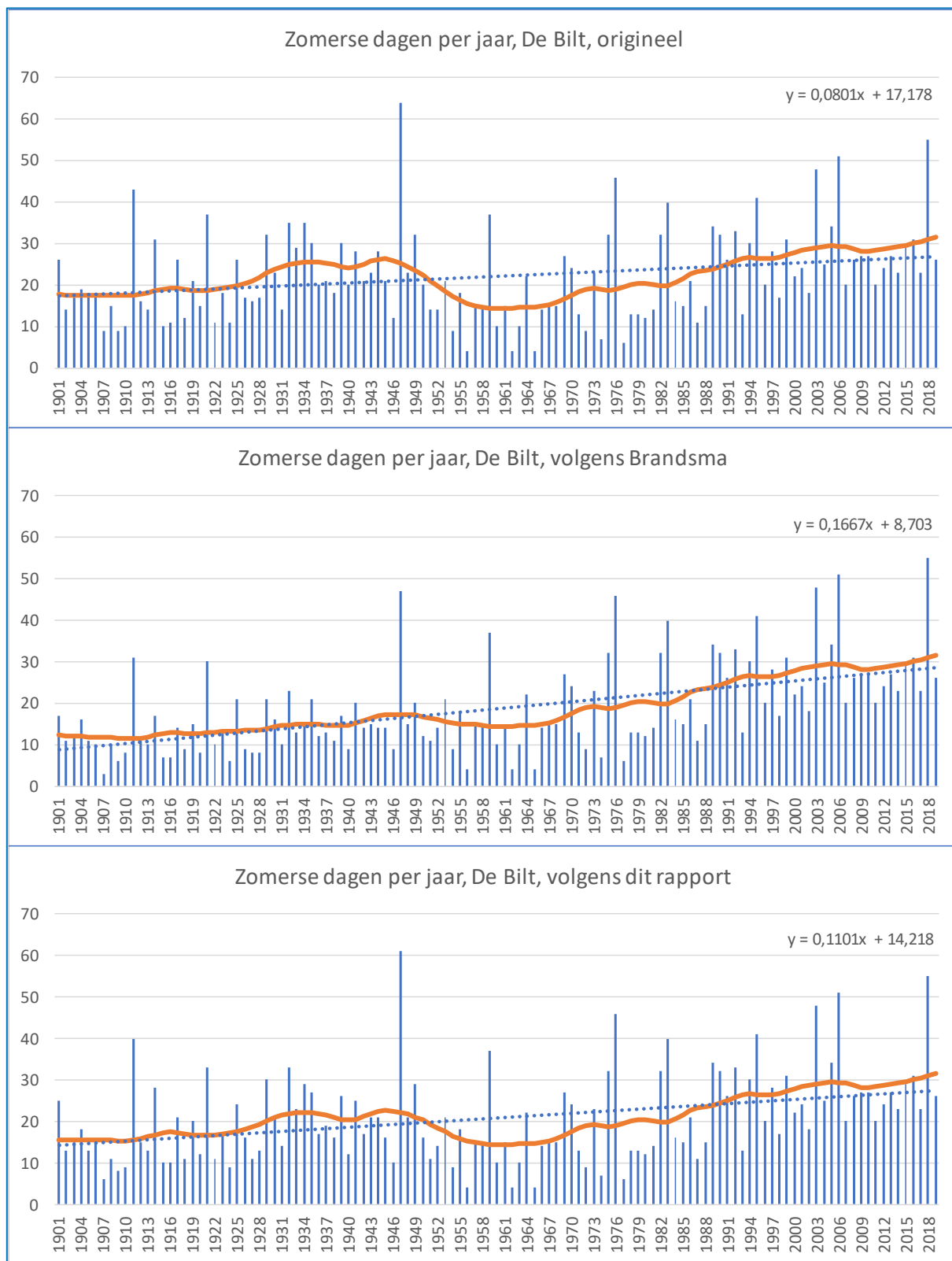
Figuur 48 laat het effect zien van de drie verschillende homogenisaties op het aantal ijsdagen. De trendlijnen zijn in deze figuur berekend met een span van 11 punten uit 118 (0,09), om een mogelijke relatie met de zonnecyclus zichtbaar te maken. De verschillen zijn op het eerste gezicht niet groot. Het KNMI telt vóór 1951 8 ijsdagen minder dan zonder homogenisatie.

Uit Figuur 45 en Figuur 46 kan worden geconcludeerd, dat het aantal zomerse dagen ($T_x \geq 25$) in De Bilt sneller stijgt dan het aantal tropische dagen ($T_x \geq 30$). In het aantal tropische dagen zijn golfbewegingen te zien, terwijl het aantal zomerse dagen een tamelijk constante stijging vertoont vanaf 1960. Vóór 1950 was het tamelijk constant en tussen 1950 en 1960 trad een duidelijke daling van het aantal zomerse dagen op. Beweringen die vaak in de media worden gedaan (ook door KNMI en PBL) dat het aantal zeer hete dagen in de toekomst sterker stijgt dan gemiddeld worden door de historische waarnemingen niet ondersteund. In werkelijkheid is de maximale jaartemperatuur tussen 1947 en 2018 niet gestegen. Alleen dankzij de homogenisatie kon het KNMI schrijven dat het op 27-7-2018 0,1 graad warmer werd dan op 27-6-1947 (35,7 versus 35,6). De werkelijk gemeten temperatuur op 27-6-1947 was 36,8. Volgens onze herziene homogenisatie had 1947 met 36,1 toen nog steeds het absolute record voor De Bilt. Het record van de maximale jaartemperatuur is uiteindelijk in De Bilt pas op 25 juli 2019 gebroken: 37,5 graden.

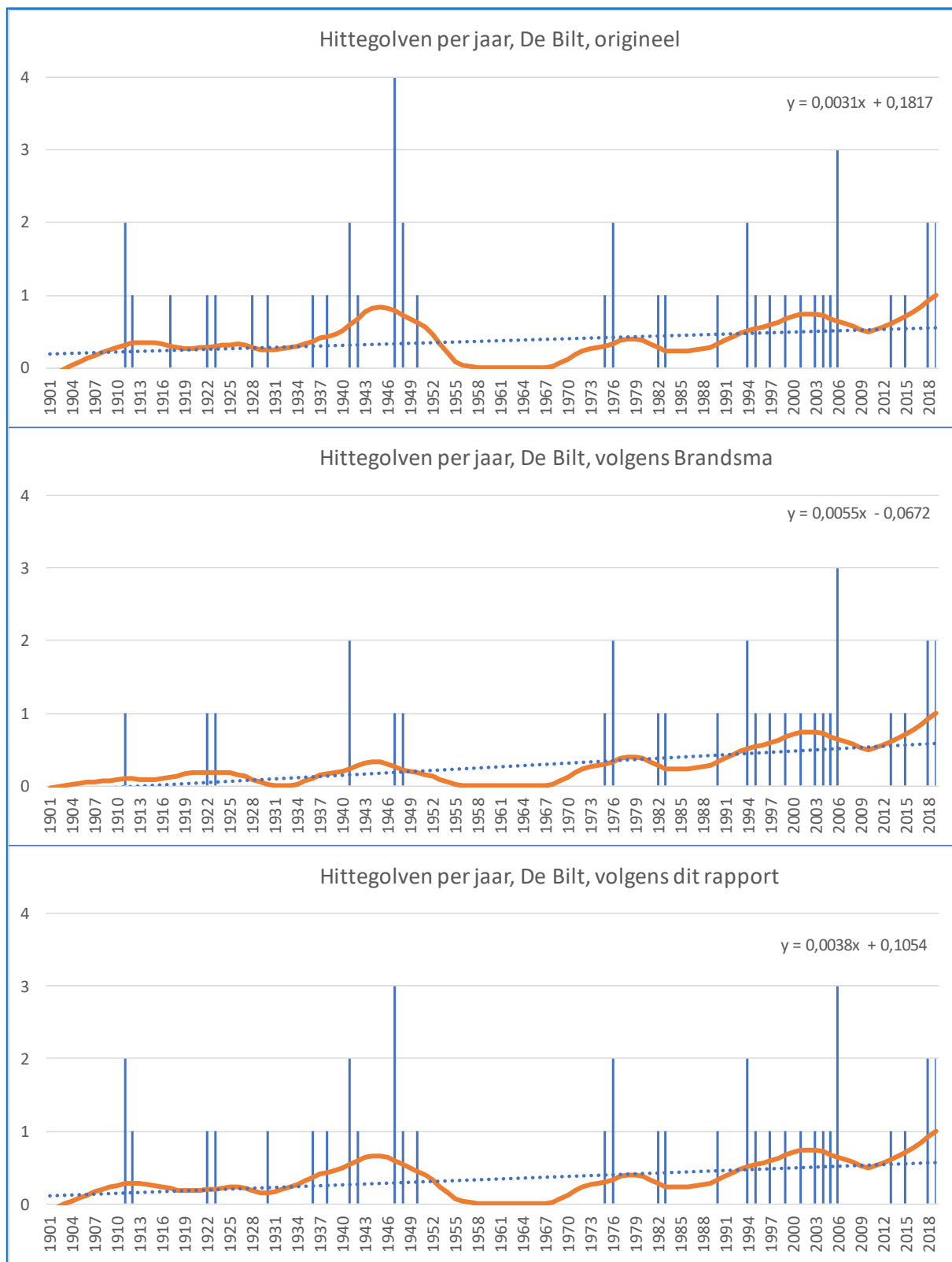
Figuur 49 laat het effect zien van de verschillende homogenisaties op de temperatuursprong rond 1950. Zonder homogenisatie is er een sprong in de maximale jaartemperatuur van 3 °C. Door de homogenisatie van het KNMI wordt de sprong gehalveerd tot 1,5 °C. Met onze reconstructies van de homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation is de temperatuursprong 2,7 °C.



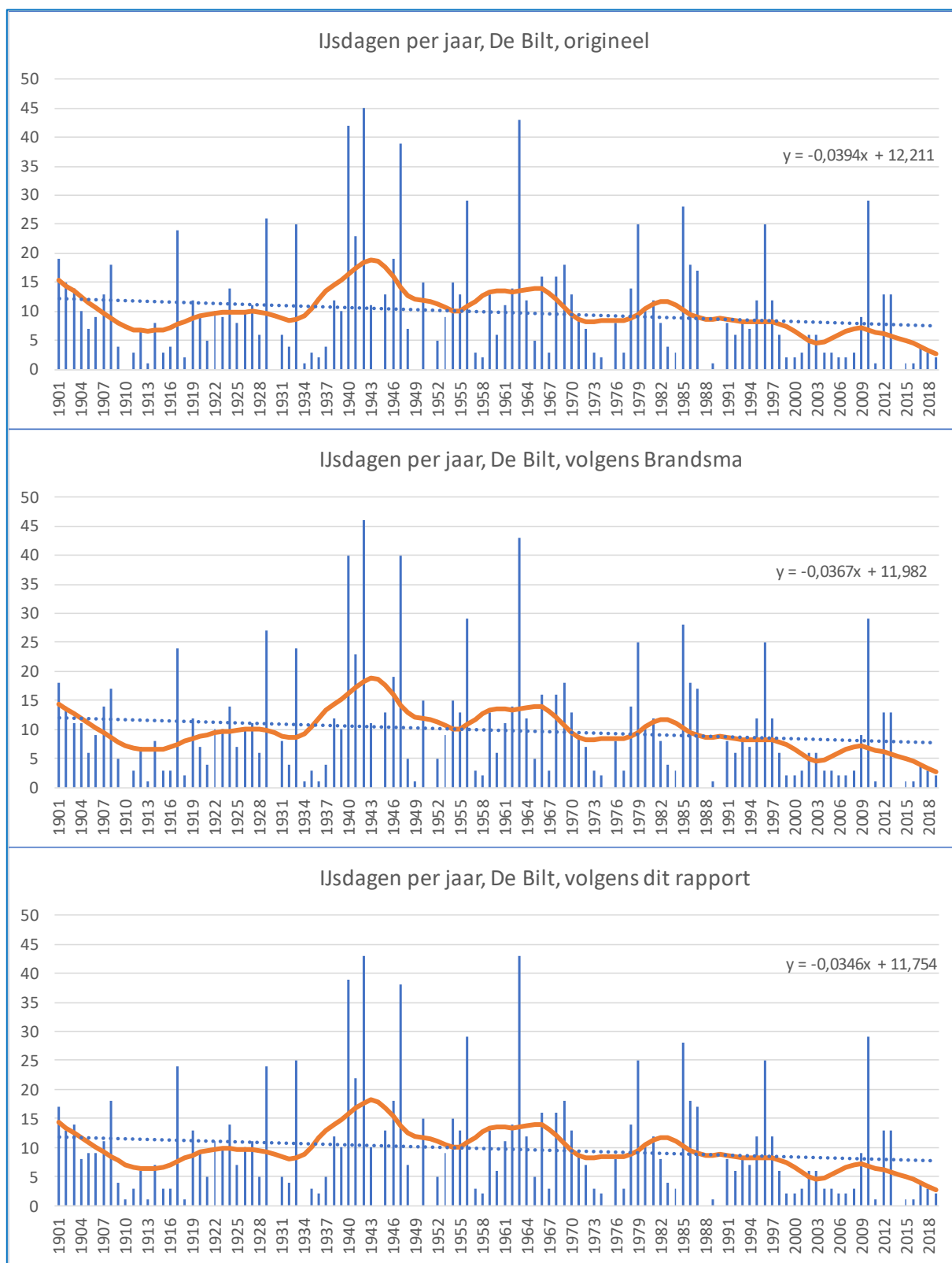
Figuur 45 Aantal tropische dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd op Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



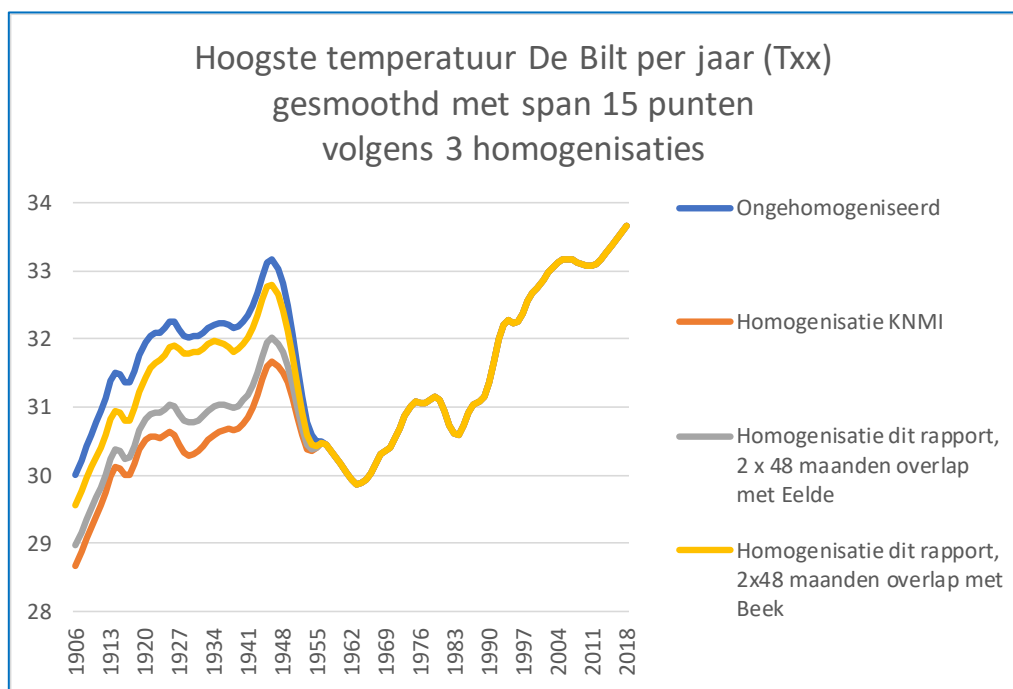
Figuur 46 Aantal zomerse dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd op Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 47 Aantal hittegolven per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 48 Aantal ijsdagen dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 11 punten uit 118 (0,17) om een mogelijke relatie met de zonnecyclus zichtbaar te maken. De homogenisatie volgens dit rapport is evenals die van Brandsma gebaseerd op de data van Eelde (1946-1949 resp. 1952-1955) als vergelijkingsstation. Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 49 Trend in de hoogste jaartemperatuur in de Bilt volgens originele metingen KNMI en drie homogenisaties.

9 Literatuur

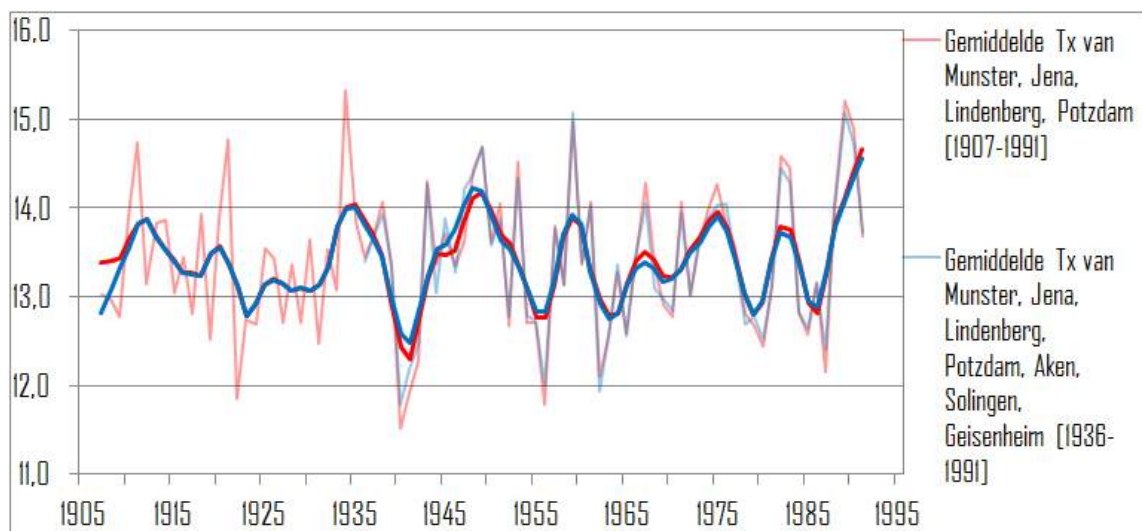
- Brandsma, T., 2005: Parallel air temperature measurements at the KNMI-terrain in De Bilt (the Netherlands) May 2003 – April 2005. KNMI-publicatie 207, HISKLIM 7.
- Brandsma, T., 2011: Parallel air temperature measurements at the KNMI observatory in De Bilt (the Netherlands) May 2003 – June 2005. KNMI Scientific Report, WR 2011-01.
- Brandsma T., Jilderda R. and Sluijter R., 2013: Standardization of data and methods for calculating daily Tmean, Tn and Tx in the Netherlands for the 1901-1970 period.
- Brandsma, T., 2016a: Homogenization of daily temperature data of the five principal stations in the Netherlands (version 1.0). KNMI Technical Report TR-356.
- Brandsma, T., 2016b: Homogenisatie van dagelijkse temperaturen van de KNMI hoofdstations. *Meteorologica* 25(2), 4-8.
- Brandsma T. and Van der Meulen J.P., 2007: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) – Part II: Description and modeling of meantemperature differences and extremes. *Int. J. Climatol.* 2007.
- Brandsma. T., 2019: Pagodemetingen in De Bilt. *Meteorologica* 28(1), 4-8.
- Bruin, H. de, 2016: De Oude Pagode en een kortebroekenheld. *Meteorologica* 26(3), 26-27.
- Dijkstra, F., 2017: Commentaar op de homogenisatie van dagelijkse temperaturen van de KNMI hoofdstations. *Meteorologica* 26(4), 12-15.
- Hyndman, R. J. and Y. Fan, 1996: Sample quantiles in statistical packages, *American Statistician* 50, 361–365.
- KNAW, 2018: Replication studies. Improving Reproducibility in the Empirical Sciences. Advisory Report KNAW, 15-1-2018.
- Kramer, C., Post, J.J. en Woudenberg, J.P.M., 1954: Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van temperatuur- en vochtigheidsbepalingen in buitenlucht met behulp van kwikthermometers. *Mededelingen en verhandelingen KNMI*, nr. 60.
- Mureau, R., W. van den Berg, W. Hazeleger en E. Min, 2013: Vaker hoge maxima? *Meteorologica* 22(3), 26-29.
- Rozendaal, S., 2016: Creatief met cijfers: KNMI kan geen thermometer lezen. KNMI goochelt de tropische zomer van 1947 van 1 naar 6 in de toptien. Elsevier, 27 oktober 2016.
- Rozendaal, S., 2017: De hete pagode van De Bilt. Elsevier, 6 mei 2017.
- Schrier, G. van der, Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, 2011a: The construction of a Central Netherlands temperature. *Clim. Past*, 7, 527–542, 2011.
- Schrier, G. van der, Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, 2011b: De Centraal Nederland Temperatuurreeks. *Meteorologica* 20(4), 10-15.
- Ulden van, A., Van Oldenborgh, G.J., Van der Schrier, G., 2009: The Construction of a Central Netherlands Temperature. KNMI Scientific Report WR 2009-03.
- Visser, H., 2007: Kans op extreem warme dagen in Nederland. Milieu en Natuur Planbureau, rapport 550032010/2007.

10 Appendix

BIJLAGE 1: Samenstelling referentieset

Voor het samenstellen van een ensemble van de zeven Duitse stations moeten we rekening houden met het aantal jaren die stations gemeenschappelijk hebben. We kunnen een gemiddelde nemen van 4 stations voor het interval 1907-1991 (Münster, Jena, Lindenberg en Potsdam) en 3 extra stations vanaf 1936 (Aken, Solingen en Geisenheim). Het KNMI doet dat ook bij het samenstellen van de CNT, waarbij van 1901 tot 1950 het gemiddelde van 4 "gecorrigeerde" stations (CNT4) werd gekoppeld aan het gemiddelde van 6 stations (CNT6). Er werd "een kleine correctie" (helaas ongespecificeerd) toegepast voor de overgang van 4 naar 6 referentiestations.

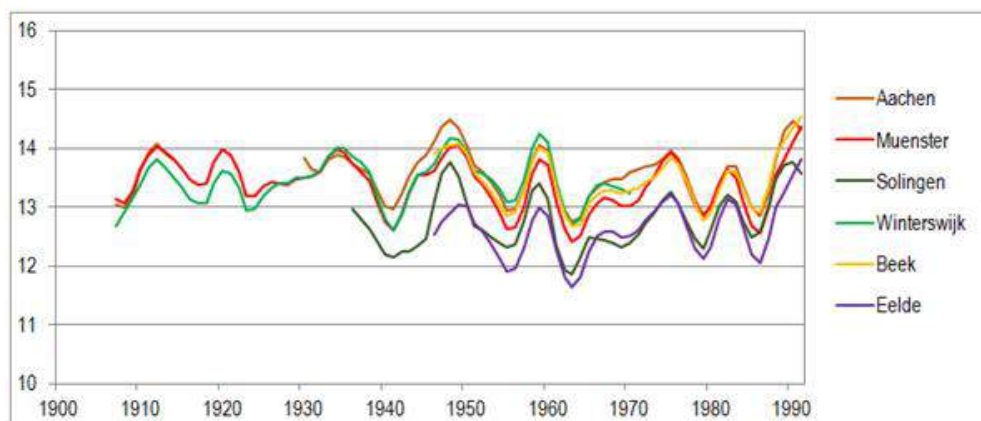
Wij hebben deze methode van het KNMI nagevolgd. In figuur 28 zijn de beide Tx reeksen uitgezet over de periode 1907-1991: rood: 4 stations; blauw dezelfde 4 stations plus 3 extra stations:



Figuur 50 Tx (°C) van 2 subsets bestaande uit de gemiddelden van 4 stations (rood) en van 7 stations (blauw). De dikke lijnen zijn verkregen met een Loess filter met span 8 jaren.

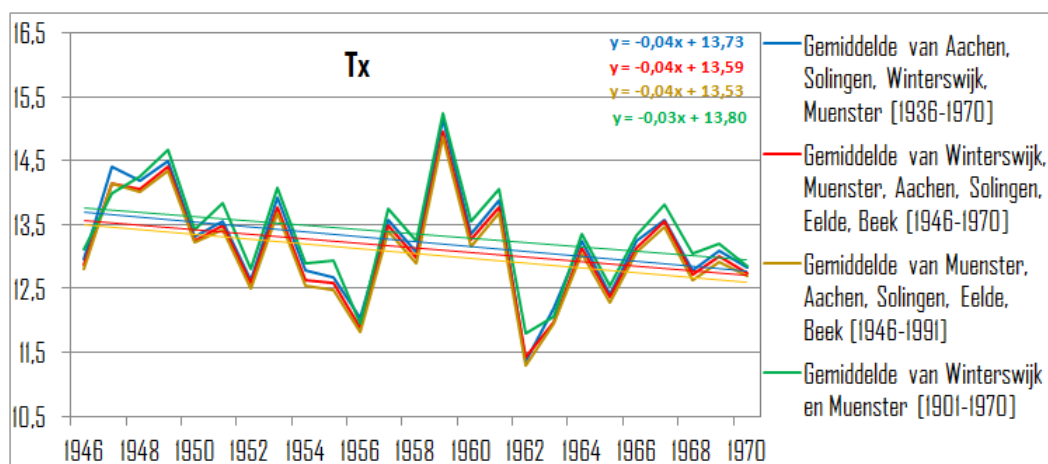
De richtingscoëfficiënt van Tx in het gemeenschappelijk interval 1936-1991 is exact hetzelfde voor het gemiddelde van de 4 stations en het gemiddelde van de 6 stations. Op de gemiddelde Tx van de 4 stations (rood) werd daarom alleen een kleine positieve correctie toegepast (0,049 °C) zodat de gemiddelden van de twee reeksen in de kalibratieperiode 1936-1991 gelijk zijn. Vervolgens werden de twee reeksen (rood: 1907-1935 en blauw: 1936-1991) aan elkaar gekoppeld tot één reeks: het Duitse ensemble.

Samenstelling referentieset



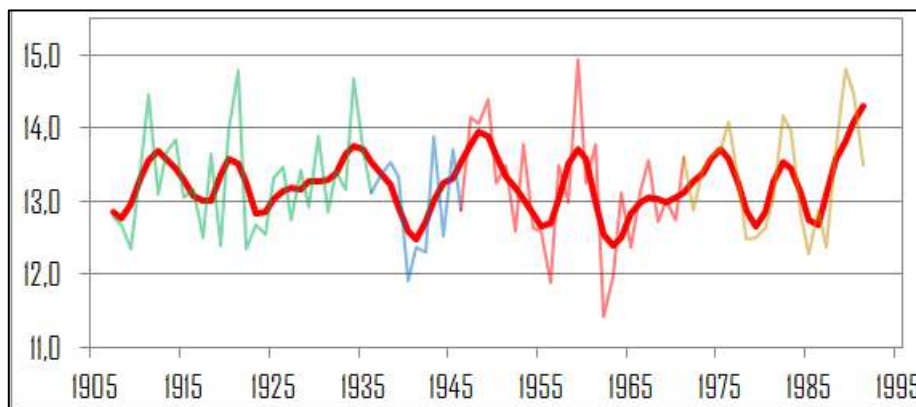
Figuur 51 Tx (°C) van de zes stations die gebruikt werden in het samenstellen van de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar.

Om de verschillende perioden van de stations aan elkaar te koppelen gebruiken we het interval dat alle 6 stations gemeenschappelijk hebben: 1946-1970 (de kalibratieperiode). We gebruiken het gemiddelde van alle 6 stations in deze periode om correcties toe te passen op drie subsets, te weten 1: Winterswijk en Münster (1907-1970), 2: Aachen, Solingen, Winterswijk, Münster (1936-1970), 3: Münster, Aachen, Solingen, Eelde, Beek (1946-1991):



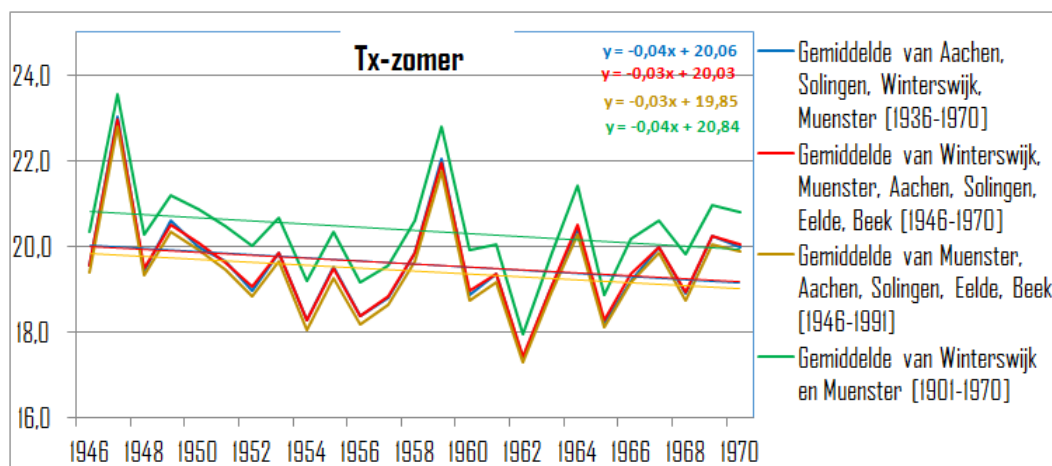
Figuur 52 Gemiddelde Tx (°C) van vier ensembles.

Basis voor de correcties is de rode lijn in Figuur 52 met het gemiddelde van alle stations (de hoofdataset). De richtingscoëfficiënten van de 3 subsets verschillen niet significant van die van de hoofdataset ($p > 0,9$). We corrigeren daarom alleen voor het verschil van de gemiddelde Tx van de 3 subsets met die van de hoofdataset. De blauwe lijn (subset 2) ligt gemiddeld $0,102\text{ °C}$ boven de rode lijn, de gele lijn (subset 3) ligt gemiddeld $0,076\text{ °C}$ onder de rode lijn en de groene lijn (subset 1) ligt gemiddeld $0,23\text{ °C}$ boven de rode lijn. Met deze correcties kunnen we nu de 4 reeksen aan elkaar koppelen. Subset 1 (groen) van 1907-1935; subset 2 (blauw) van 1936-1945; subset 3 van 1946-1970; subset 4 (geel) van 1971-1991:



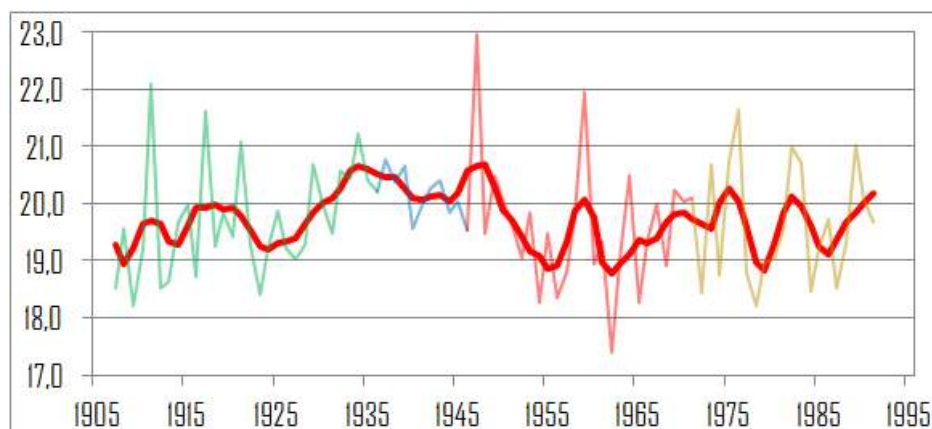
Figuur 53 Gemiddelde Tx (°C) van vier subsets samengevoegd tot een referentieset. De dikke rode lijn is verkregen met een Loess filter met span 8 jaar.

Voor de constructie van Tx-zomer werd dezelfde methode gevolgd als voor Tx:



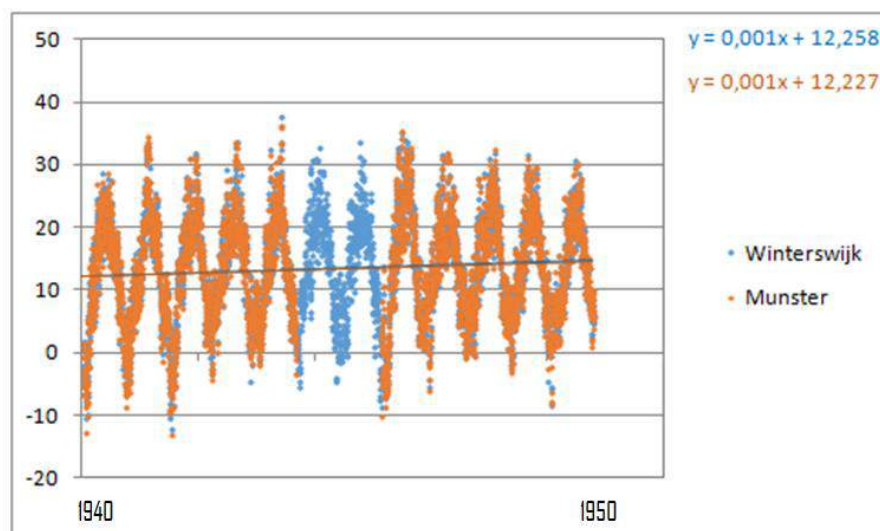
Figuur 54 Gemiddelde Tx-zomer (°C) van vier ensembles.

Aangezien de hellingshoeken van de 4 subsets in het interval 1946-1970 niet significant verschillen corrigeren we alleen voor het verschil van de gemiddelde Tx-zomer van de 3 subsets met die van de hoofdataset op dezelfde wijze zoals hierboven beschreven voor Tx. Dit is het resultaat:



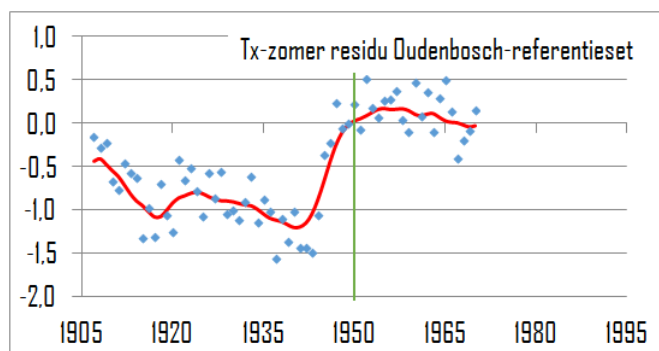
Figuur 55 Gemiddelde Tx-zomer (°C) van vier subsets samengevoegd tot een referentieset. De dikke rode lijn is verkregen met een Loess filter met span 8 jaar.

Voor Münster ontbreken de jaren 1945 en 1946. Voor het opvullen van deze jaren werden de gegevens van het dichtstbijzijnde station Winterswijk gebruikt. In Figuur 56 staan de dagelijkse Tx-waarden van Münster en Winterswijk in het gebruikte kalibratie interval 1940-1950. De Tx-waarden van Münster werden met een kleine correctie voor het niveauverschil van de trendlijnen ($-0,031\text{ }^{\circ}\text{C}$) gekopieerd naar Winterswijk.



Figuur 56 Dagelijkse Tx-waarden ($^{\circ}\text{C}$) van Winterswijk (blauw) en Münster (bruin) tussen 1940 en 1950.

Oudenbosch werd uitgesloten van de referentieset mede vanwege de merkwaardige trendbreuk die Tx-zomer in Oudenbosch vertoont:



Figuur 57 Verschil tussen Tx-zomer van Oudenbosch en de referentieset. Oudenbosch vertoont een grote trendbreuk van meer dan $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Het KNMI vermeldt deze opvallende trendbreuk niet. Oudenbosch is notabene gebruikt in de constructie van de CNT en is ook gebruikt als referentie bij diverse homogenisaties waardoor deze stations en de CNT zijn "vervuild". Oudenbosch is in de jaren vóór 1950 ruim een graad lager dan de referentieset.

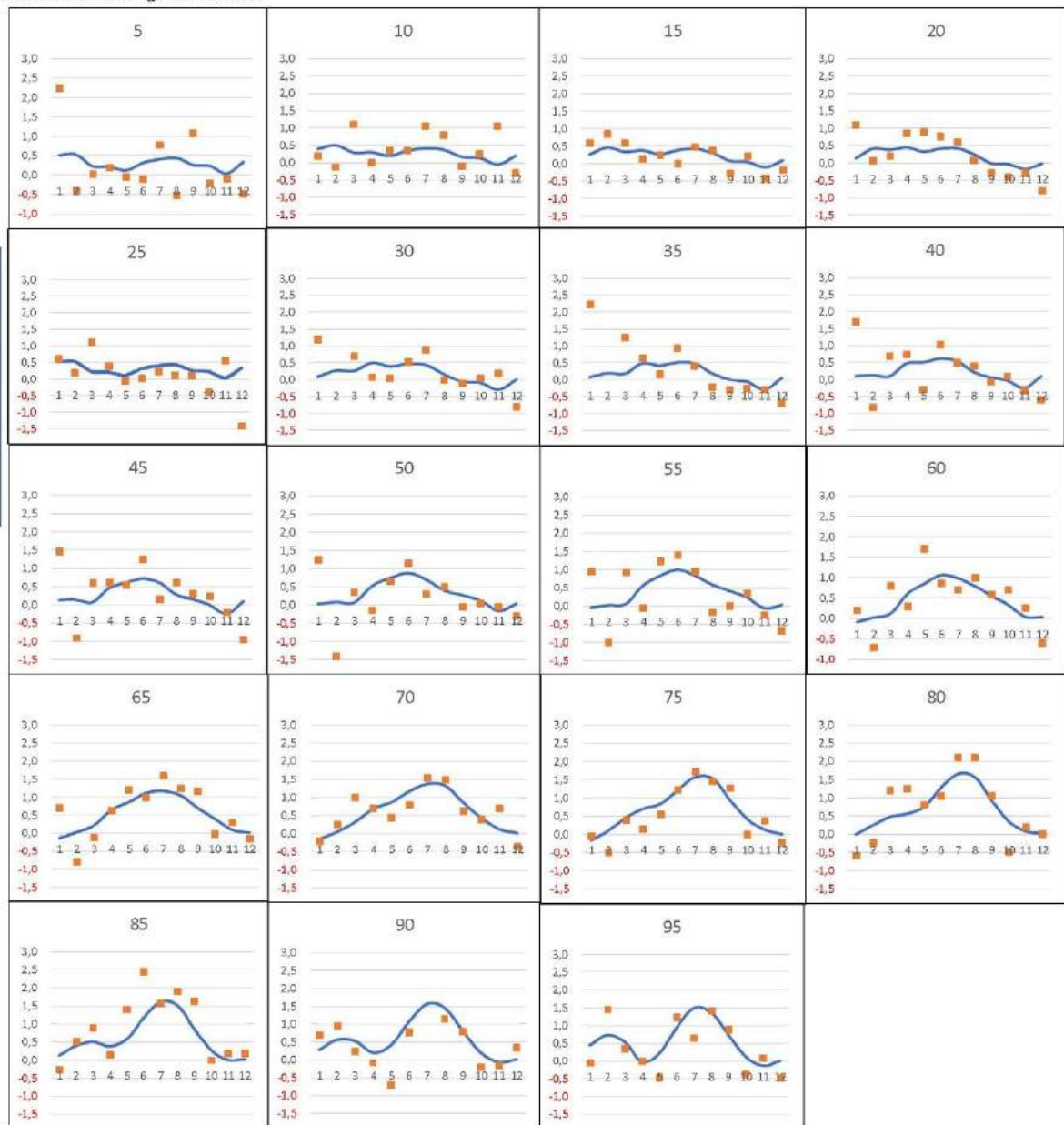
BIJLAGE 2: Detailgrafieken hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

0,40

Span smoothing over maanden:

0,42



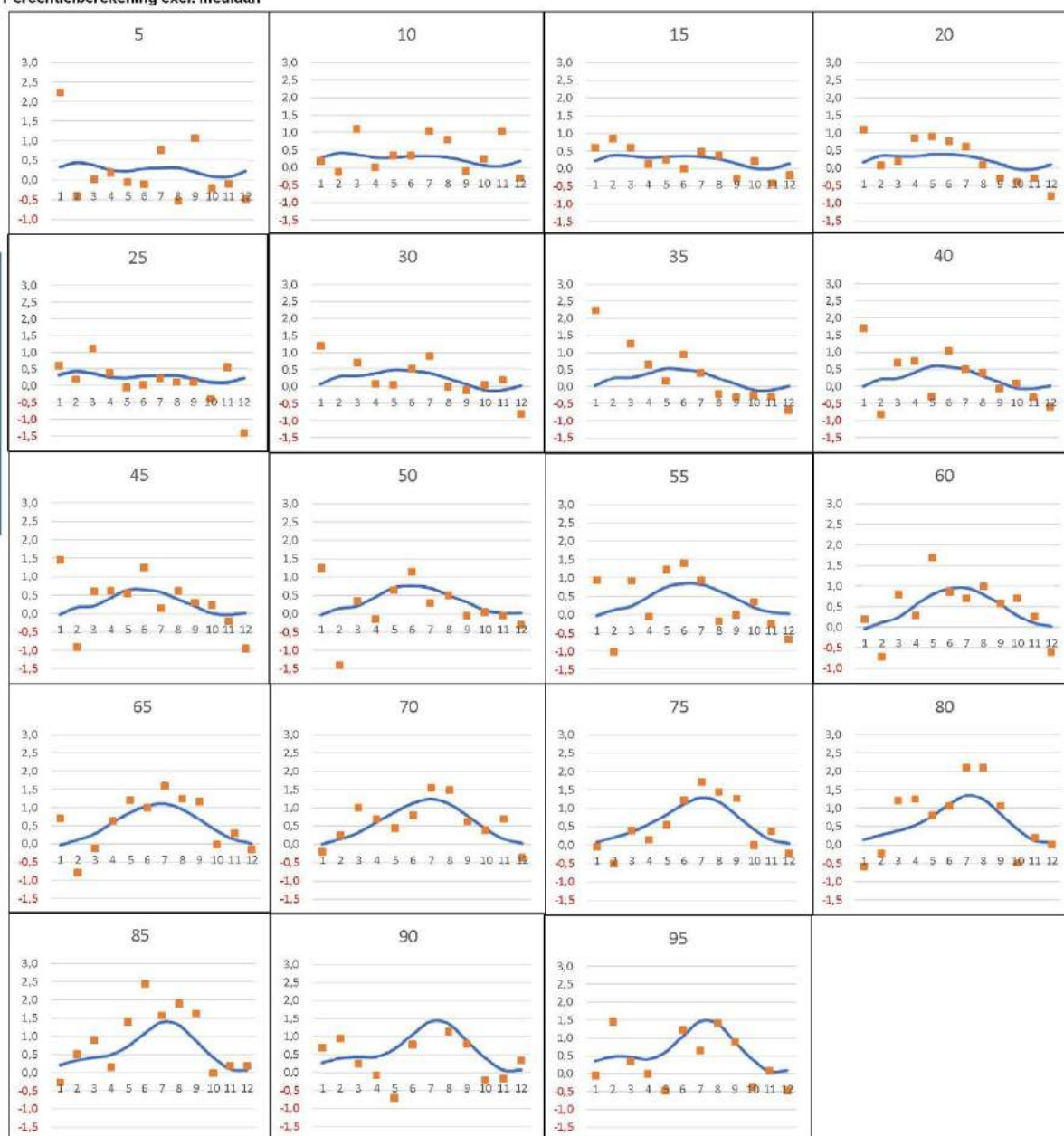
Figuur 58 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, lage smoothing.

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

0,60

Span smoothing over maanden:

0,58



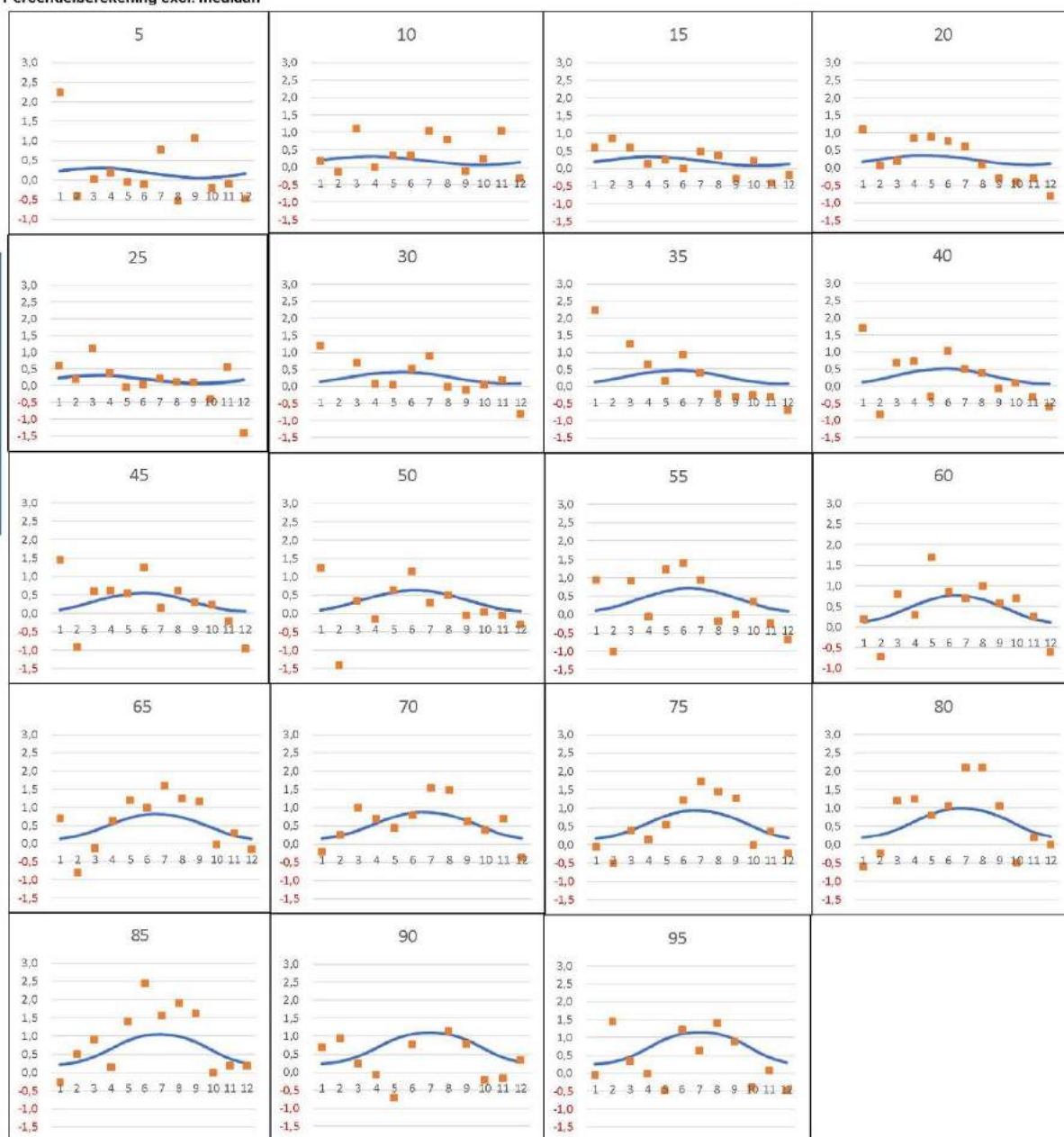
Figuur 59 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, matige smoothing.

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

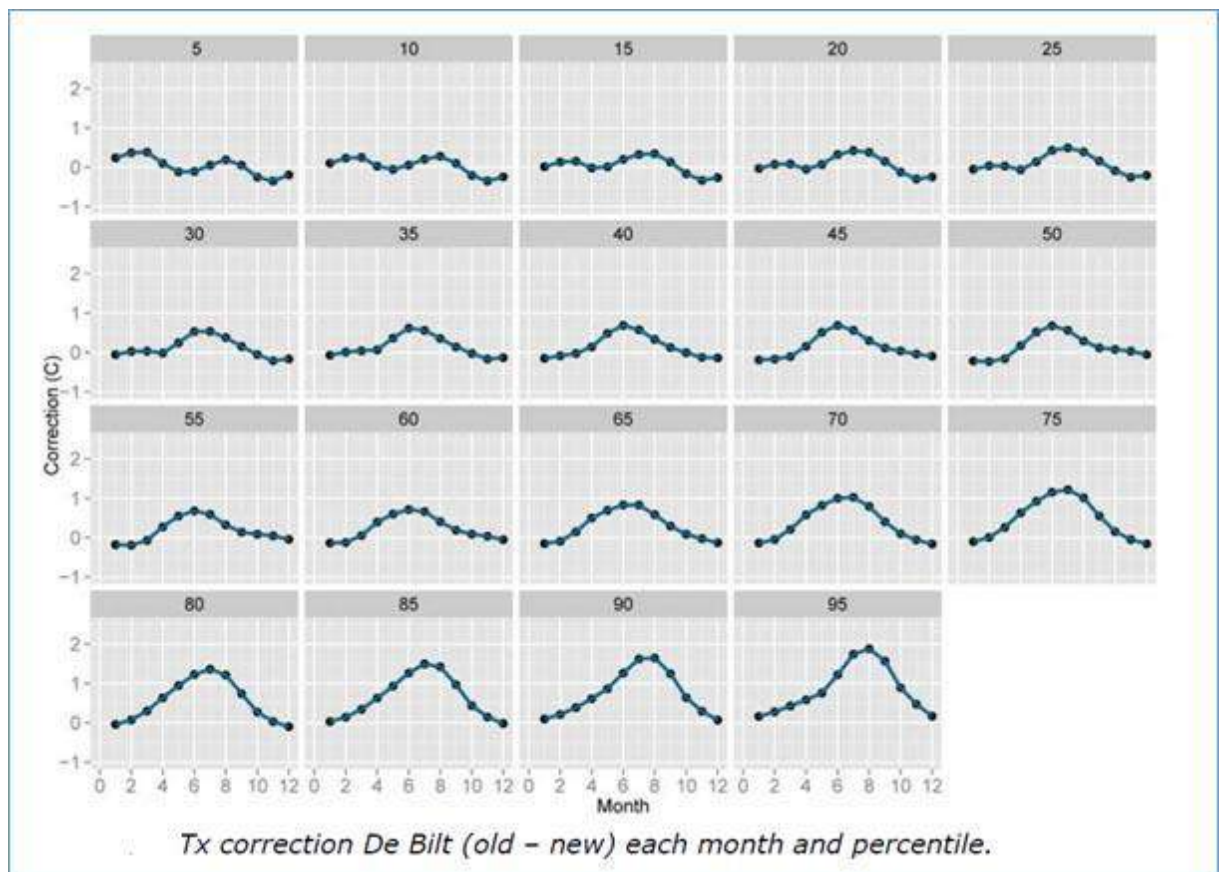
0,90

Span smoothing over maanden:

0,92



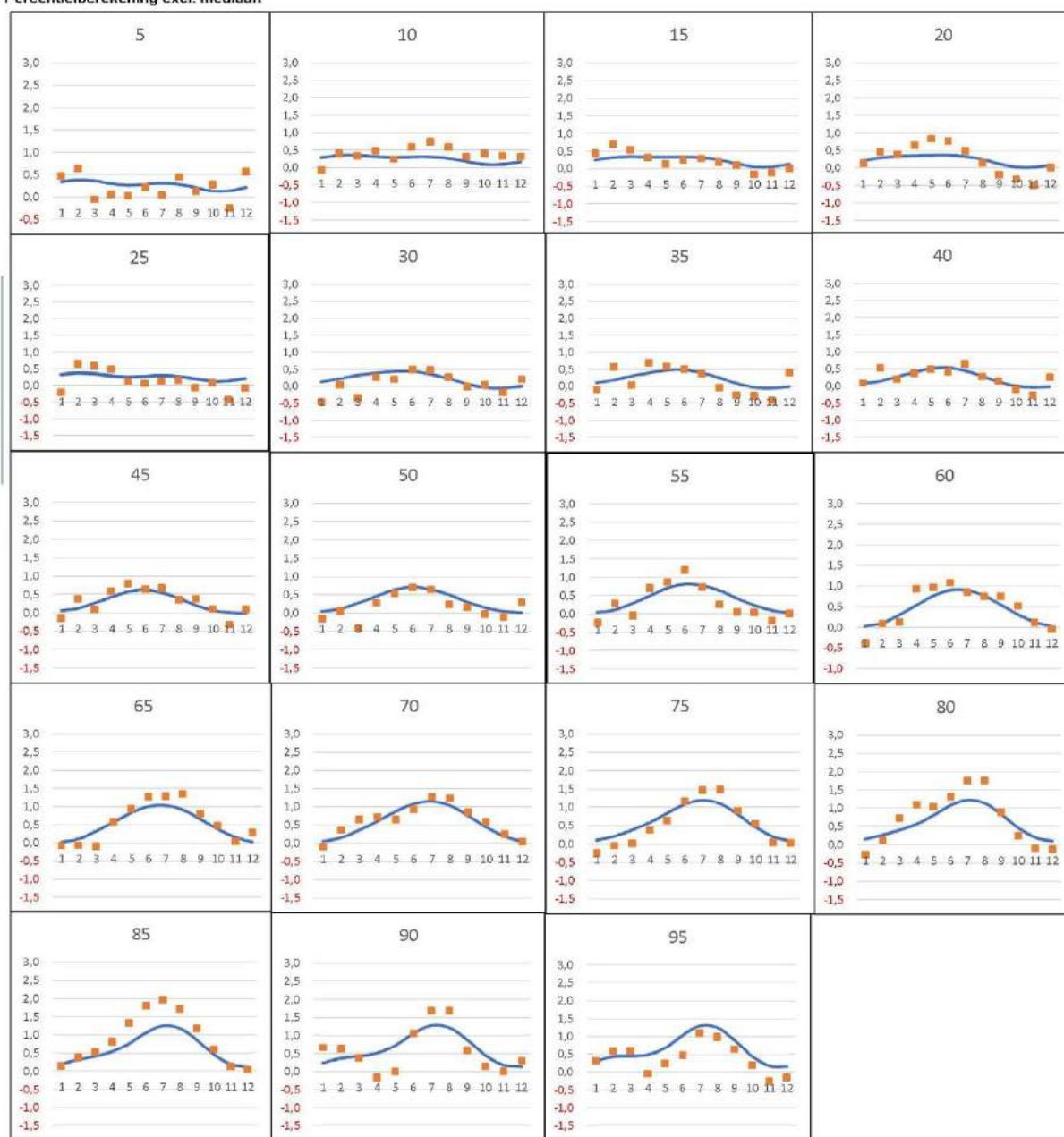
Figuur 60 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, hoge smoothing.



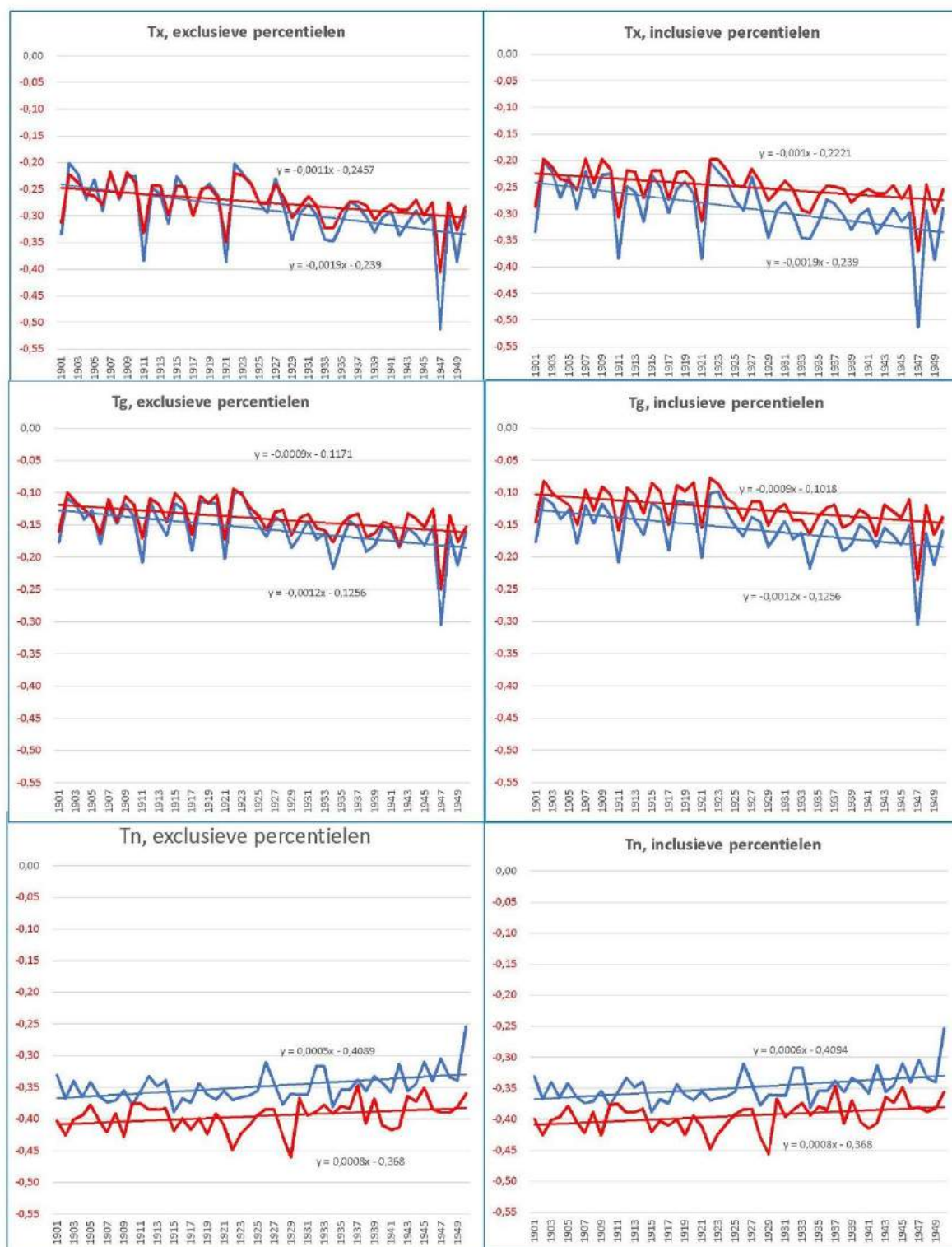
Figuur 61 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel volgens Brandsma (2016a), vergelijkbaar met Figuur 59.

TX De Bilt met Eelde als referentie, extra middeling over 3 lopende maanden in het begin
 Span smoothing over percentielen 0,60
 Percentielberekening excl. mediaan

Span smoothing over maanden: 0,58



Figuur 62 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, met extra middeling van de percentielen over 3 lopende maanden. Vergelijkbaar met Figuur 59.



Figuur 63 Gemiddelde correcties van Tx, Tg en Tn per jaar volgens de homogenisatie van het KNMI (blauw) en volgens onze reconstructie (rood), vergelijkingsperiode van 56 maanden. Links: onze reconstructie gebaseerd op percentielen exclusief de mediaan, rechts: onze reconstructie gebaseerd op percentielen inclusief de mediaan.

BIJLAGE 3: Vragen aan en antwoorden van KNMI

Email naar Theo Brandsma van het KNMI

25 oktober 2018

Geachte heer Brandsma

Ondergetekenden zijn bezig met het reproduceren van de homogenisatie van de dagelijkse temperatuur-metingen in De Bilt van 1 januari 1901 tot 1 september 1951 zoals die door het KNMI is uitgevoerd.

Wij hebben de homogenisatie van Tg en Tx in De Bilt trachten te reproduceren aan de hand van de methode, zoals door Brandsma beschreven in het technisch rapport TR-356. De uitkomsten van die reproductie wijken op een aantal punten sterk af van die van het KNMI. Die afwijkingen kunnen het gevolg zijn van een te summiere beschrijving in het technische rapport van de gevolgde methode. Dat is dan ook de reden om onderstaande vragen te formuleren:

Voor het berekenen van de percentielen wordt verwezen naar Hyndman & Fan (1966), maar in die publicatie staan diverse methoden beschreven.

Bij het berekenen van de ruwe correcties (per percentiel en per maand: het verschil van de verschillen tussen Eelde en De Bilt, voor en na de relocatie in De Bilt) ontstaan data met grote verschillen tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Dat lost het KNMI op door tweemaal te smoothen, eerst over de percentielen en daarna over de maanden. Er wordt gekozen voor een span van 0,6 zonder deze te motiveren. Vermoedelijk wordt dezelfde span gebruikt bij het smoothen over 19 percentielen als over 12 maanden. Niet vermeld wordt wat het effect is van andere keuzen van de span. Wij hebben diverse combinaties van de span geprobeerd, en geconstateerd dat het uiteindelijke resultaat daar tamelijk sterk door wordt beïnvloed.

Uiteindelijk leidt dit tot correcties per maand en per percentiel. Voor Tx in De Bilt vindt het KNMI in het hoogste percentiel in de zomermaanden correcties van 1,9 °C. Onze herhaling van de homogenisatie leidt bij gebruik van dezelfde span als bij het KNMI tot aanzienlijk lagere correcties: 0,9-1,3 °C in de drie hoogste percentielen. Ook opmerkelijk is dat de hoogste correcties die wij vinden niet in de hoogste percentielen zijn, maar in het 85-percentiel.

Ook tussen onze homogenisatie en de door het KNMI gehomogeniseerde gemiddelde temperatuur (Tg) vinden wij verschillen. Zie figuur 1. Over het algemeen zijn het geen grote verschillen, behalve in 1911, 1921, 1934, 1947 en 1949. Vooral in 1947 corrigeert het KNMI Tg veel sterker dan uit onze reconstructie volgt. Bovendien is de trend in de correcties in de periode 1901-1951 bij het KNMI sterker dalend dan onze homogenisatie.

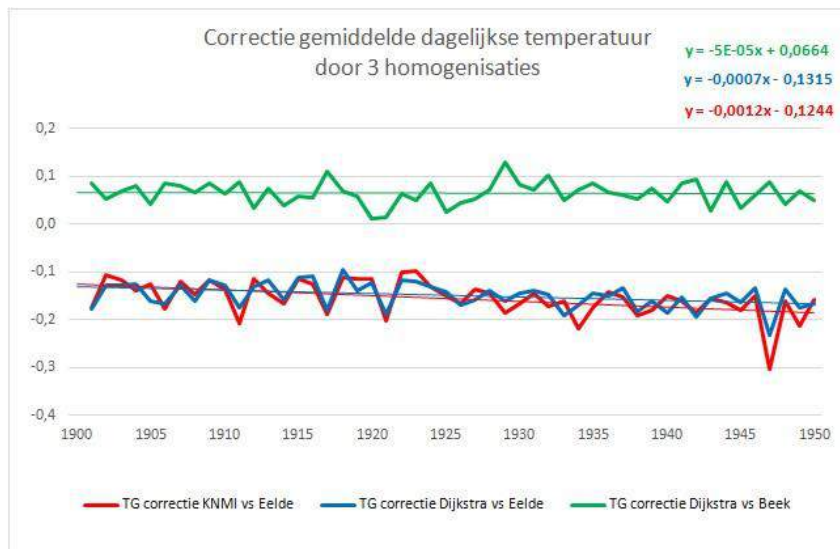
Het KNMI heeft besloten om de data voor De Bilt te homogeniseren met Eelde als referentiestation. Waarom voor Eelde is gekozen is in het technisch rapport niet verantwoord. Wij hebben dezelfde homogenisatietechniek ook toegepast met als referentiestation Beek, om te zien of deze keuze van invloed is op de uitkomsten. Dat was inderdaad het geval: de resultaten bij het gebruik van Beek wijken sterk af van die van Eelde. Zie figuur 1, 2 en 3.

Dit alles leidt tot een aantal vragen waar we graag een antwoord op zouden willen krijgen:

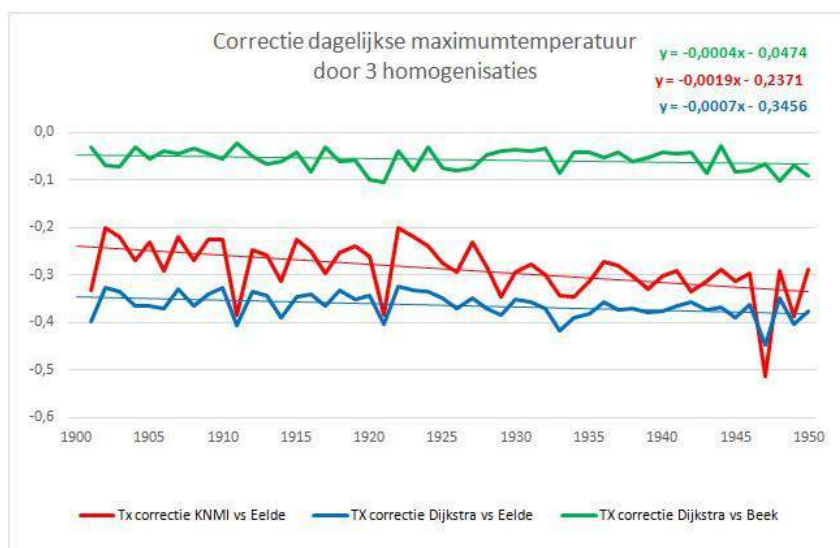
- 1) Welke methode van Hyndman & Fan is gebruikt om percentielen te berekenen, en waarom is voor die methode gekozen?
- 2) Waarop berust de keuze voor een span van 0,6? Is onderzocht wat het effect op de homogenisatie is bij andere keuzen van de span? Zo ja, wat kwam daaruit? Zo ja, waarom zijn deze resultaten niet gepubliceerd in TR-356?
- 3) Welke aanvullende correcties heeft het KNMI nog meer toegepast dan die omschreven worden in het technische rapport? Kunnen die verklaren waarom wij lagere correcties vinden in het hoogste percentiel dan het KNMI?
- 4) Zijn er andere stations dan Eelde gebruikt als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de data van De Bilt? Zo ja, welke en wat kwam daaruit? Waarom is dan toch voor Eelde gekozen?
- 5) Wat is de statistische fout in de berekende correcties?
- 6) Er zijn vele veranderingen geweest in instrumentarium, meetschema's en oprukkende bebouwing in de afgelopen eeuw. Waarom is nu juist de opstellingsverandering (pagode in de beschutte tuin -> Stevenson naar achterterrein) in 1950/1951 geselecteerd om een homogenisatie door te voeren in de reeks van de Bilt? Hoe (met welke statistische test) heeft het KNMI aangetoond dat deze overgang in 1950/1951 wel gehomogeniseerd moet worden en andere wijzigingen in het verleden niet?
- 7) Waarom is de toegepaste wetenschappelijke methode niet gepubliceerd in een peer-reviewed tijdschrift en alleen in een TR-rapport?
- 8) Waarom heeft het KNMI na de homogenisatie de ongecorrigeerde meetdata offline gehaald? Zouden niet, vanuit het oogpunt van transparantie, zowel de ongecorrigeerde als de gecorrigeerde data online moeten blijven staan? Is het KNMI bereid de ongecorrigeerde data weer online te zetten?

We danken u bij voorbaat voor uw medewerking.

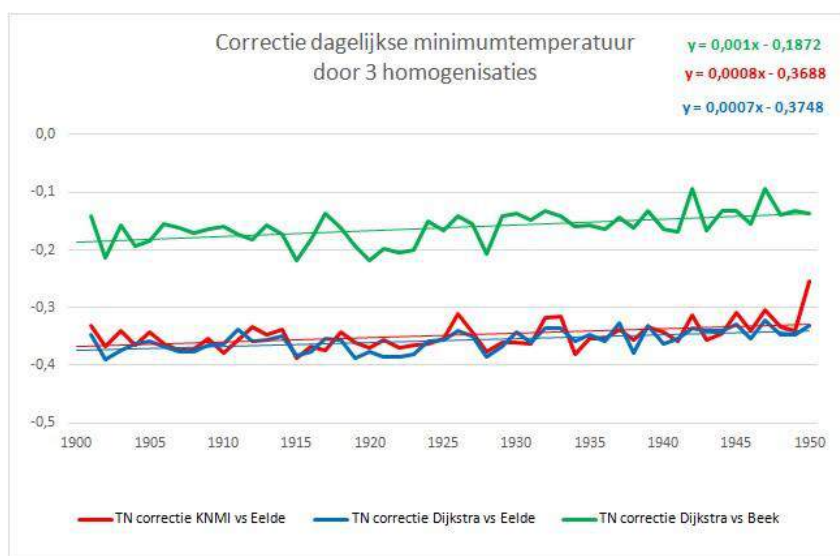
Frans Dijkstra, Rob de Vos, Marcel Crok, Jan Ruis, Henk de Bruin



Figuur 1 Correctie Tg De Bilt door 3 homogenisaties



Figuur 2 Correctie Tx De Bilt door 3 homogenisaties



Figuur 3 Correctie Tn De Bilt door 3 homogenisaties

De Bilt, 9 november 2018

Antwoorden op de vragen van Crok et al. (zoals verwoord in de mail van 25 oktober 2018)

1) *Welke methode van Hyndman & Fan is gebruikt om percentielen te berekenen, en waarom is voor die methode gekozen?*

We gebruiken R-software voor onze berekeningen. In R gebruiken we de functie `quantile` voor het berekenen van kwantielen. De documentatie zegt het volgende over deze functie:

“Quantile returns estimates of underlying distribution quantiles based on one or two order statistics from the supplied elements in `x` at probabilities in `probs`. One of the nine quantile algorithms discussed in Hyndman and Fan (1996), selected by type, is employed.

All sample quantiles are defined as weighted averages of consecutive order statistics. Sample quantiles of type `i` are defined by:

$$Q[i](p) = (1 - \gamma) x[j] + \gamma x[j+1],$$

where $1 \leq i \leq 9$, $(j-m)/n \leq p < (j-m+1)/n$, $x[j]$ is the j th order statistic, n is the sample size, the value of γ is a function of $j = \text{floor}(np + m)$ and $g = np + m - j$, and m is a constant determined by the sample quantile type.”

De tekst hierboven noemt negen algoritmen/methoden. Hier hebben we type 7 gebruikt met:

“ $m = 1-p$. $p[k] = (k - 1) / (n - 1)$. In this case, $p[k] = \text{mode}[F(x[k])]$.”

Dit is de default methode in R. Er was geen reden om daarvan af te wijken.

2) *Waarop berust de keuze voor een span van 0,6? Is onderzocht wat het effect op de homogenisatie is bij andere keuzen van de span? Zo ja, wat kwam daaruit? Zo ja, waarom zijn deze resultaten niet gepubliceerd in TR-356?*

Onderaan p.20 in TR-356 staat:

The smoothing is done using a so-called loess smoother (Cleveland, 1979). Using a mixture of cross-validation and expert opinion we determined a span of 0.6 (family = Gaussian and degree=2).

De keuze van de span is dus op basis van cross validation (generalized cross validation in dit geval). Voor afzonderlijke kwantielen en maanden geeft dat een iets andere span. We hebben gekozen om met één span te werken. De span van 0.6 bleek daarbij een goed compromis. Op het oog is het effect van een kleine verandering in span klein. We hadden daarom geen reden om het effect van de span op de gehele homogenisatie verder te onderzoeken.

3) *Welke aanvullende correcties heeft het KNMI nog meer toegepast dan die omschreven worden in het technische rapport? Kunnen die verklaren waarom wij lagere correcties vinden in het hoogste percentiel dan het KNMI?*

Het KNMI heeft geen aanvullende aanpassingen gedaan. Uitgangspunt zijn de gestandaardiseerde dagelijkse temperaturen van de vijf hoofstations zoals beschreven in TR-340.

Het rapport bevat voor De Bilt niet voldoende detail om de resultaten precies te reproduceren. Ten eerste, in een poging om voor De Bilt zoveel mogelijk data mee te nemen, hebben we voor sommige

maanden ook gebruik gemaakt van data in 1950 (t/m augustus, het moment voor de breuk door de overgang pagode/stevenson). Om voor en na de breuk intervallen van gelijke lengte te krijgen is de data na de breuk waar nodig aangevuld met data uit 1956. Ten tweede, vanwege de grote verschillen tussen aangrenzende maanden (zie figuur 4 uit TR-356) hebben we de berekening van de kwantielen voor elke maand steeds gebaseerd op lopende drie maanden. Dus voor de berekening van de januari kwantielen gebruiken we DJF, voor februari, JFM, etc. Dit zorgt voor een conservatieve schatting van de aanpassingen. Voor het tussenjaar (tussen de overgang naar Stevensonhut en de verplaatsing naar een open locatie 300 m naar het zuiden) is gebruik gemaakt van de helft van de aanpassing.

Onderstaande tabel geeft aan welke data voor welke maand gebruikt is. Daar waar maanden weggelaten zijn (omdat ze in het inhomogene interval vallen) is dat aangegeven.

Month	Before	After
jan	1946-50 (omit D 50)	1952-56 (omit D 56)
feb	1946-50	1952-56
mar	1946-50	1952-56
apr	1946-50	1952-56
may	1946-50	1952-56
jun	1946-50	1952-56
jul	1946-50	1952-56
aug	1946-50 (omit S 50)	1952-56 (omit S 56)
sep	1946-50 (omit SN 50)	1952-56 (omit SN 56)
oct	1946-49	1952-55
nov	1946-49	1952-55
dec	1946-50 (omit ND 50)	1952-56 (omit ND 56)

Achteraf gezien was het verstandig geweest deze detaillering als appendix op te nemen het rapport. Hopelijk lukt het met bovenstaande gegevens wel om de resultaten te reproduceren.

4) *Zijn er andere stations dan Eelde gebruikt als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de data van De Bilt? Zo ja, welke en wat kwam daaruit? Waarom is dan toch voor Eelde gekozen?*

Alleen Eelde is gebruikt als vergelijkingsstation voor de correctie van De Bilt. De twee kuststations Den Helder/De Kooy en Vlissingen vallen af door hun ligging dicht bij zee. Hierdoor zijn de stations op dagbasis slecht vergelijkbaar met De Bilt. Van de overige twee stations is Eelde beter geschikt als parallel station dan Beek (net als Eelde is er met Beek een overlap van 1946-1956). Dit heeft te maken met de afwijkende hoogteligging van Beek (114 m boven nap) en de directe nabijheid van het Maasdal. Daarnaast is voor de overheersende windrichting in Nederland (ZW-W) de afstand van De Bilt en Eelde tot grote wateroppervlakken vergelijkbaar.

Ook wat het aantal hittegolven betreft komt Eelde sterk overeen met De Bilt. In de gehomogeniseerde reeksen tellen beide stations 24 hittegolven t/m 2015. Eelde telt 9 hittegolven in de periode t/m 1950 tegenover 7 in De Bilt. Na 1950 telt Eelde 15 hittegolven tegenover 17 in De Bilt.

5) *Wat is de statistische fout in de berekende correcties?*

In de literatuur is weinig bekend over statistische onnauwkeurigheid bij aanpassingen in het kader van homogenisatie van reeksen van dagwaarden. Dit is een moeilijk probleem vanwege het gebruik van korte reeksen met autocorrelatie en de correlatie tussen de reeksen onderling. Recent is

wetenschappelijk onderzoek gestart naar het kwantificeren van onnauwkeurigheid (o.a. INDECIS (<http://www.indecis.eu/>)).

Op dit moment houden we rekening met een fout van een paar tiende graden op de grootste correcties.

6) *Er zijn vele veranderingen geweest in instrumentarium, meetschema's en oprukkende bebouwing in de afgelopen eeuw. Waarom is nu juist de opstellingsverandering (pagode in de beschutte tuin -> Stevenson naar achterterrein) in 1950/1951 geselecteerd om een homogenisatie door te voeren in de reeks van de Bilt? Hoe (met welke statistische test) heeft het KNMI aangetoond dat deze overgang in 1950/1951 wel gehomogeniseerd moet worden en andere wijzigingen in het verleden niet?*

Voorafgaand aan de homogenisatie is voor de vijf hoofdstations in 2013 een standaardisatie van de dagtemperaturen doorgevoerd beschreven in TR-340. Door de standaardisatie zijn de procedures om dag minima en maxima te berekenen gestandaardiseerd en wordt er gebruik gemaakt van uniforme databronnen.

Verschillen tussen de verschillende versies van de Stevensonhut en de moderne KNMI schotelhut zijn eerder onderzocht door het KNMI (Brandsma en Van der Meulen, 2008). Deze verschillen zijn bijna een orde kleiner dan die nu onderzochte verschillen.

Voor De Bilt is het effect van verstedelijking onderzocht (Brandsma et al., 2003). Ook dit effect is verwaarloosbaar op de totale temperatuurtrend in De Bilt.

Van De Bilt is vooral de inhomogeniteit rond 1950 in de maximumtemperatuur in de zomer bekend. Deze is makkelijk aan te tonen met willekeurige statistische test. Visser (2007) bijvoorbeeld analyseerde de breuk in Txx en vond een sprong van 3.7 ± 1.4 °C (95%-betrouwbaarheidsinterval). De grootte van de breuk is overigens wel afhankelijk van het model dat je fit voor en na de breuk. Het KNMI komt met een ander model op correcties die ongeveer de helft kleiner zijn. De breuk is ook duidelijk zichtbaar in de in de gemiddelde maandtemperaturen (zie bijv. Schrier et al., 2011).

Zoals in TR-356 aangegeven, zijn er nog verbeteringen mogelijk in de huidige homogenisatie. We verwachten echter niet dat dat zal leiden tot grote veranderingen in de belangrijkste temperatuurtrends.

7) *Waarom is de toegepaste wetenschappelijke methode niet gepubliceerd in een peer-reviewed tijdschrift en alleen in een TR-rapport?*

Voor publicatie in een peer-reviewed tijdschrift is het nodig dat onderzoek vernieuwend is. Dat is hier niet het geval. De percentile-matching methode is al eerder gepubliceerd en toegepast.

8) *Waarom heeft het KNMI na de homogenisatie de ongecorrigeerde meetdata offline gehaald? Zouden niet, vanuit het oogpunt van transparantie, zowel de ongecorrigeerde als de gecorrigeerde data online moeten blijven staan? Is het KNMI bereid de ongecorrigeerde data weer online te zetten?*

Gemeten waarden blijven naast de gehomogeniseerde beschikbaar en zijn uitgangspunt voor een eventuele volgende (verbeterde) homogenisatieslag. Via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/gemeten-reeksen> zijn zowel de gehomogeniseerde reeksen als de gemeten reeksen beschikbaar. Ieder die dat wil kan gebruik maken van een of beide soorten reeksen. Het KNMI zelf gebruikt voor de voorlichting de gehomogeniseerde reeksen. Voor de relevante temperatuurindicatoren geven deze reeksen hetzelfde consistente beeld.

Literatuur

Brandsma, T., Homogenization of daily temperature data of the five principal stations in the Netherlands (version 1.0). KNMI Technical Report: TR-356, pp43, 2016.

Brandsma, T., R. Jilderda and R. Sluijter. Standardization of data and methods for calculating daily Tmean, Tn and Tx in the Netherlands for the 1901-1970 period. KNMI, Technical Report, TR-340, 45p., 2013.

Brandsma, T., G.P. Können and H.R.A. Wessels. Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *Int. J. Climatology*, 23, 829-845, 2003.

Brandsma, T. and J.P. van der Meulen. Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes. *Int. J. Climatology*, 28, 389-400, 2008. doi:10.1002/joc.1524.

Schrier, G. van der, A.P. van Ulden and G.J. van Oldenborgh. The construction of a Central Netherlands temperature. *Climate of the Past*, 7, 527-542, 2011.

Visser, H. Kans op extreem warme dagen in Nederland: Een analyse van historische data, modelvoorspellingen en consequenties voor de volksgezondheid. MNP Rapport 550032010/2007, 2007.

BIJLAGE 4: Smoothing voor dummies

Smoothing is een statistische techniek waarmee fluctuaties in een reeks metingen worden afgevlakt, zodat de onderliggende trend zichtbaar wordt gemaakt.

De eenvoudigste manier om een trend zichtbaar te maken is de **regressielijn**. Dat is een rechte lijn die het best aansluit bij een reeks metingen. De vergelijking van zo'n regressielijn is een lineaire expressie van de vorm $y = ax + b$. De mate waarin de meetpunten gespreid zijn rond de lijn wordt uitgedrukt in de regressiecoëfficiënt. Meestal wordt het kwadraat daarvan vermeld: r^2 .

Vaak is een onderliggende trend niet lineair, maar is wel een gekromde lijn te vinden die beter aansluit bij een reeks metingen. De vergelijking van die lijn kan kwadratisch zijn, of derdegraads, of hoger. Men kan dan spreken van een **polynoomfunctie**. Andere varianten van gekromde lijnen kunnen een logaritmisch of exponentieel verband weergeven.

Als er geen wiskundig verband is binnen een meetreeks kan een fluctuerende trend zichtbaar worden gemaakt met twee technieken: **voortschrijdend gemiddelde** of **smoothing**.

Het **voortschrijdend gemiddelde** is een lopend gemiddelde van een aantal metingen. Bij elk meetpunt wordt de gemiddelde waarde genomen van die meting en een aantal aan het meetpunt voorafgaande waarden en een even groot aantal er op volgende waarden. Het nadeel van een voortschrijdend gemiddelde is dat het niet aan het begin en het einde van de reeks kan worden berekend, omdat er geen metingen voor en na het einde van de reeks zijn. De mate waarin fluctuaties in de reeks worden afgevlakt hangt af van het aantal punten dat in het voortschrijdend gemiddelde wordt meegerekend.

Voor **smoothing** bestaan diverse statistische methoden. De **loess-smoothing** maakt gebruik van een soort regressie rondom elk meetpunt (nadere uitleg is niet voor dummies). Het resultaat lijkt op een voortschrijdend gemiddelde, maar met een vloeiender curve van begin tot eind van de meetreeks. Net als bij het voortschrijdend gemiddelde hangt de mate waarin een fluctuaties in de reeks worden afgevlakt af van het aantal punten dat wordt meegerekend. Dat wordt de **span** genoemd. Het hangt van het statistische pakket af, in welke eenheid de span wordt uitgedrukt, meestal het aantal punten dat wordt meegerekend (de span is dan een heel getal), of de fractie van het aantal meegerekende punten van het totaal aantal punten (de span ligt dan tussen 0 en 1). In dit rapport wordt de span uitgedrukt in fracties van 0 tot 1.

Voorbeelden van smoothing.

De hierna volgende grafieken geven het aantal tropische dagen per jaar in De Bilt, volgens de ongehomogeniseerde reeks met verschillende trendlijnen volgens de hierboven beschreven technieken.

