



Update van de verwachte frequenties van extreem lage effectieve temperaturen

Cees de Valk en Peter Siegmund, KNMI, oktober 2023

In deze notitie wordt een update gegeven tot en met de winter van 2023 van de informatie over de frequentie van optreden van extreem lage effectieve temperaturen in het huidige klimaat. Ook wordt aanvullende informatie gegeven over koude perioden in het huidige en toekomstige klimaat.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
2. Data	2
3. Analyse van de winterminima van de effectieve temperatuur	2
3.1 Trendschatting en correctie.....	2
3.2 Schatting van de kansverdeling	4
4. Toekomst.....	8
Literatuur	9
Appendix	10
A Schattingsmethoden	10
B Schattingen voor 2023.....	11

1. Inleiding

Gasunie is verantwoordelijk voor het transport van gas binnen Nederland, en bij extreem lage temperaturen (vanaf ongeveer een effectieve temperatuur van -9°C , gebaseerd op daggemiddelde temperatuur en wind in De Bilt) ook voor het leveren van voldoende volume aan gas. In de Gaswet staat dat Gasunie voldoende gas moet kunnen leveren om bij een effectieve temperatuur van -17°C nog aan de vraag te kunnen voldoen. Er wordt aangenomen dat deze extreem lage effectieve temperatuur ongeveer eens per 50 jaar wordt overschreden in het huidige klimaat.

In Brussel werkt men aan Europese richtlijnen voor gasproductie, -transport en -levering. Daarbij lijkt men uit te willen gaan van een norm van eens in de 20 jaar (bij situaties die zich eens in de 20 jaar of vaker kunnen voordoen, moeten de bedrijven de aanvoer van

voldoende gas kunnen garanderen). Gasunie wil inzicht hebben in de effectieve temperaturen die 1x in de 50 jaar en 1x in de 20 jaar voorkomen. Daarnaast wil Gasunie weten in hoeverre een effectieve temperatuur van -17°C nog past bij de 1x in de 50 jaar. Daarvoor is zo recent mogelijke informatie nodig over het optreden van extreem lage effectieve temperaturen in het huidige klimaat.

2. Data

De effectieve temperatuur wordt bepaald uit de daggemiddelde temperatuur en windsnelheid in De Bilt, op dezelfde wijze als in de voorgaande studie KNMI (2011) en in Wever (2008):

$$T_{eff} = T_{gem} - \frac{2}{3} U_{gem} \quad , \quad (1)$$

met T_{eff} de effectieve temperatuur ($^{\circ}\text{C}$), T_{gem} de daggemiddelde temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en U_{gem} de daggemiddelde windsnelheid (m/s). Voor elk winter (1 oktober – 31 maart) in de periode 1905-2023 wordt het winterminimum van T_{eff} berekend; de winter van 2023 bestaat uit oktober, november, december 2022 en januari, februari, maart 2023. De data van T_{gem} en U_{gem} zijn verkregen via <https://daggegevens.knmi.nl/>. De U_{gem} in de jaren vóór 1961 is vervolgens vermenigvuldigd met een factor 0.71, die samenhangt met een verandering van meethoogte rond 1960 (Wever 2008, blz. 3)

3. Analyse van de winterminima van de effectieve temperatuur

De data-analyse omvat de volgende stappen:

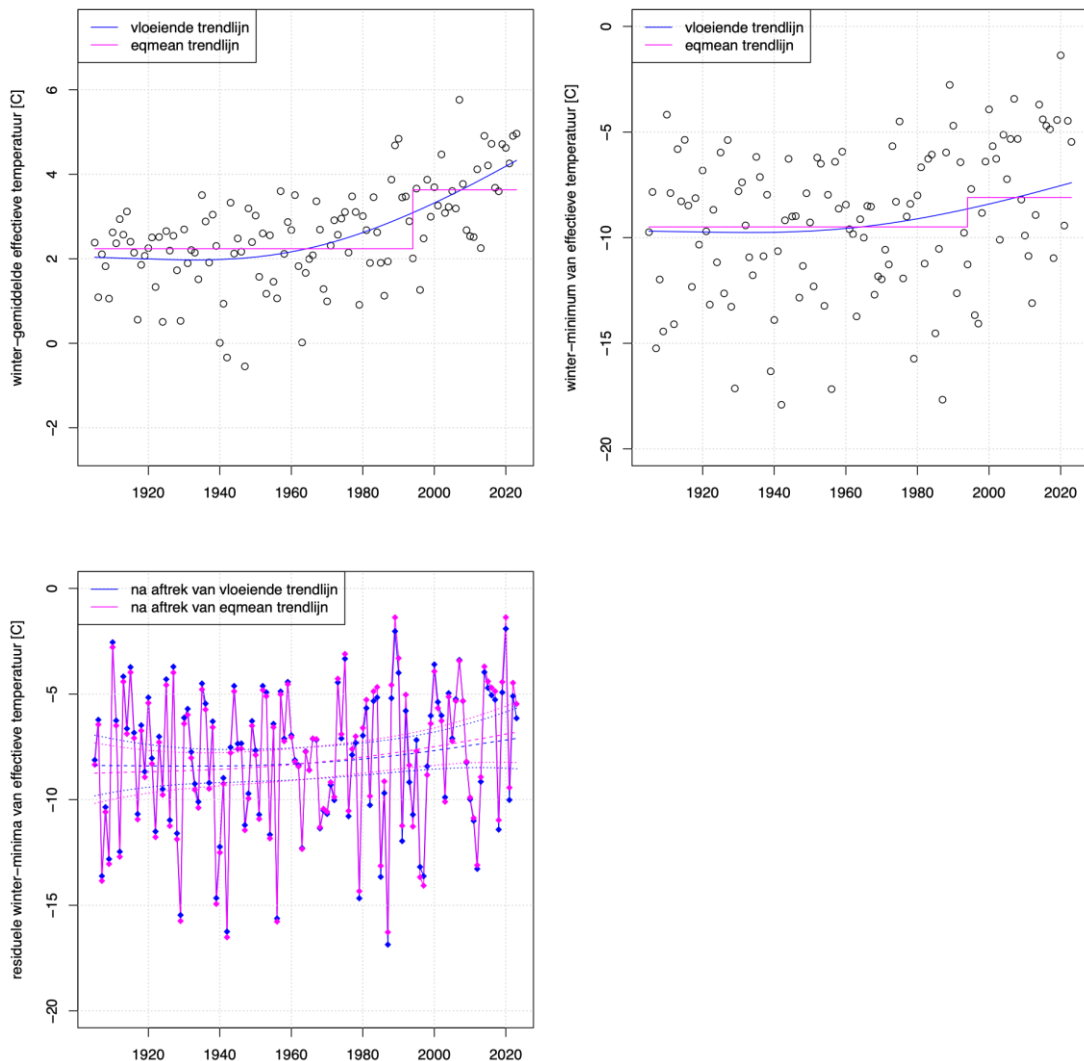
1. bepaling van een geleidelijke trend in de tijdreeks van winterminima van T_{eff} , en correctie van de tijdreeks, zodat deze representatief wordt voor het huidige klimaat;
2. schatting van de kansverdeling van de jaarminima van T_{eff} voor het huidige klimaat en bepaling van daarvan afgeleide grootheden.

3.1 Trendschatting en correctie

In de voorafgaande studie KNMI (2011) is een zogeheten “eqmean” reeks geconstrueerd op basis van de reeks van wintergemiddelde T_{eff} . Uit deze reeks zijn gemiddelden berekend over de periode voor 1981, en over de referentieperiode 1981-2010 (de meest recente 30-jaar periode). Toegepast op de huidige update wordt de referentieperiode 1994-2023. Vervolgens is het verschil (T_{eff} over de referentieperiode min T_{eff} over de voorafgaande jaren) opgeteld bij de winterminima van T_{eff} over de voorafgaande jaren.

Als alternatief is een geleidelijk verlopende trendlijn geschat uit de reeks van wintergemiddelde T_{eff} . Dit is een functie waarvan de vorm niet vooraf bepaald is (thin-plate-spline), waarvan de gladheid uit de data is geschat (zie Appendix A). In dit geval worden de

winterminima van T_{eff} gecorrigeerd door een referentiejaar te kiezen, de geschatte trendlijn 0 te maken in het referentiejaar door optellen van een constante, en de gecorrigeerde trendlijn van de winterminima af te trekken. Wij hebben in deze studie het referentiejaar op 2023-15=2008 gezet (ongeveer in het midden van de referentieperiode voor de “eqmean” reeks). De reden is dat schattingen voor latere jaren effectief op minder gegevens gebaseerd zijn, en daarom minder nauwkeurig zijn.



Figuur 1: Links boven: wintergemiddelde T_{eff} en daaruit geschatte trendlijnen. Rechtsboven: winterminimum van T_{eff} en dezelfde trendlijnen als links, maar met aangepaste gemiddelde waarde. Onder: voor deze trends gecorrigeerde winterminima van T_{eff} (stippen, lijnen) met geschatte residuele trends (gestreept), en de 90%-betrouwbaarheidsintervallen daarvan. Blauw: geleidelijk verlopende trendlijn; magenta: eqmean trendlijn.

Beide trendschattingen zijn getoond in figuur 1 (linksboven). Ze komen vrij goed overeen, gegeven de vooraf opgelegde vorm van de eqmean trendlijn. Echter, de gladde trendlijn is a priori meer plausibel dan de stapvormige lijn, mede omdat het jaar waarin de stap optreedt een vrij arbitraire keuze is. Het verloop van het winterminimum van T_{eff} in het verleden is getoond in figuur 1 (rechtsboven), met de trends bepaald uit de wintergemiddelde T_{eff} .

Figuur 1 (onder) toont de voor deze trends gecorrigeerde winterminima van T_{eff} . Deze hebben nog steeds een positieve trend (gestreepte lijnen), wat er op wijst dat het winterminimum van T_{eff} meer is gestegen dan het wintergemiddelde (meer dan twee maal zoveel). Echter, deze stijgingen vallen binnen de betrouwbaarheidsintervallen (stippellijnen), dus de aanname dat een trendlijn geschat uit de wintergemiddelde T_{eff} ook geldt voor het winterminimum van T_{eff} is verenigbaar met de gemeten winterminima. Omdat de trendschattingen uit de wintergemiddelde T_{eff} veel nauwkeuriger zijn dan trendschattingen uit de winterminima, zijn de schattingen uit de wintergemiddelde T_{eff} gebruikt.

3.2 Schatting van de kansverdeling

De kansverdeling van het voor trend gecorrigeerde winterminimum van T_{eff} (voor het gekozen referentiejaar of referentieperiode) (zie figuur 1 (onder)) is bepaald door deze met -1 te vermenigvuldigen en daaruit vervolgens een GEV (Gegeneraliseerde extreme waarde verdeling) te schatten met de maximum likelihood methode. Daarmee krijgen we de volgende schatting voor de kansverdeling van het winterminimum $T_{eff,min}$ van T_{eff} :

$$P(T_{eff,min} \geq z) = e^{-(1+\gamma((b-z)/a))^{-1/\gamma}}. \quad (2)$$

De frequentie $\mu(z)$ (in keren per jaar) dat $T_{eff} < z$ is dan gegeven door

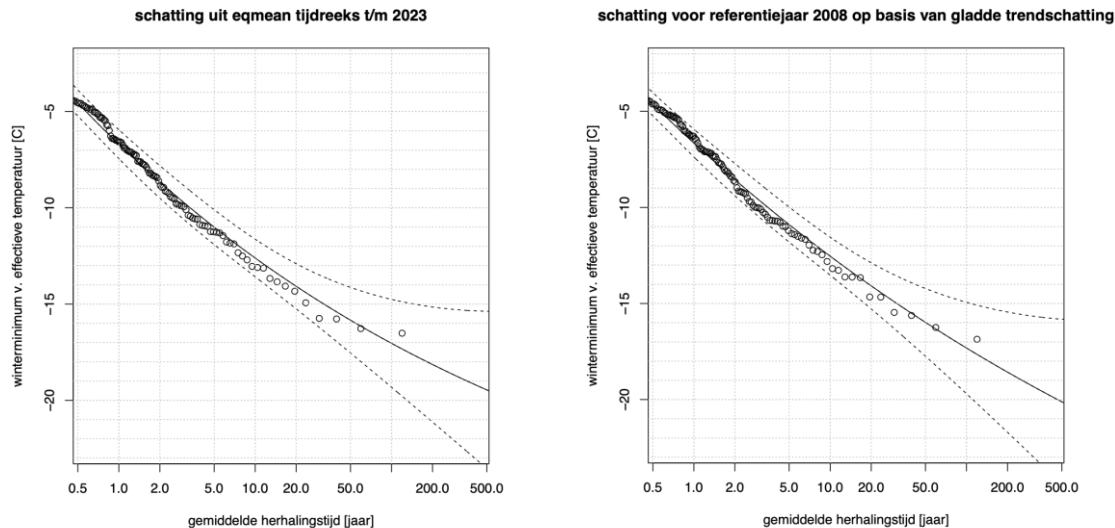
$$\mu(z) = (1 + \gamma((b - z)/a))^{-1/\gamma}. \quad (3)$$

Daarmee kunnen we direct de herhalingstijd $\tau(z)$ van de waarde z bepalen als $1/\mu(z)$, en omgekeerd, voor gegeven herhalingstijd τ de corresponderende waarde $z(\tau)$ van T_{eff} .

De varianties van de schattingen van terugkeerwaarden zijn geschat met de bootstrap methode.

Alternatieven voor de bovenstaande methoden zijn ook onderzocht. Met name is gekeken of direct een tijdafhankelijke kansverdeling van het winterminimum kan worden geschat uit de data van de winterminima, bijvoorbeeld door het fitten van een GEV (2) met tijdafhankelijke locatieparameter b . Daarvoor zijn goede methoden beschikbaar (zie Appendix A). Echter, een trendschatting uit winterminima is veel minder nauwkeurig dan uit wintergemiddelden, omdat de spreiding van de winterminima veel groter is dan de spreiding van de wintergemiddelden. Bovendien bleek de trendschatting uit de winterminima niet significant af te wijken van de trendschatting uit de wintergemiddelden (zie paragraaf 3.1). Daarom is afgezien van deze aanpak.

Figuur 2 toont de schattingen van de kansverdeling van het winterminimum van T_{eff} op basis van de “eqmean” reeks en uit de reeks gecorrigeerd op basis van een gladde trendlijn voor referentiejaar 2008 (zie paragraaf 3.1).



Figuur 2: schattingen van de kansverdeling van het winterminimum van T_{eff} op basis van de “eqmean” reeks (links) en uit de reeks gecorrigeerd op basis van een gladde trendlijn voor het referentiejaar 2008 (rechts). Lijnen: schattingen; gestreept: grenzen van 95% betrouwbaarheidsinterval; cirkels: empirische verdeling.

We zien dat beide schattingen sterk overeenkomen. Herhalingsstijden voor de schattingen op basis van een gladde trend zijn iets lager. Omdat een gladde trend meer plausibel is dan een stapvormige trend hebben we voor de schattingen op basis van een gladde trend gekozen.

herhalingsstijd (jaar)	waarde (°C)	ondergrens (°C)	bovengrens (°C)
0.5	-4.6	-5.2	-4.0
1	-6.7	-7.4	-5.9
2	-8.6	-9.4	-7.7
5	-10.9	-11.8	-10.0
10	-12.5	-13.5	-11.5
20	-14.1	-15.3	-12.9
50	-16.0	-17.7	-14.2
100	-17.3	-19.7	-14.9

Tabel 1: Waarden van winterminimum van T_{eff} voor gegeven herhalingsstijden, met onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval, bepaald voor het referentiejaar 2008.

Een overzicht van de minimum effectieve temperatuur die 1 keer in de X jaar voorkomt, waarbij X varieert van 1-100, is getoond in tabel 1. Deze tabel bevat ook de waarde voor

een herhalingstijd van 0.5 jaar (dus twee maal per winterseizoen), op basis van een Poisson model.

Op basis van de schattingen voor het referentiejaar 2008 (tabel 1)

- valt de waarde -17°C binnen de onzekerheidsband van de minimumtemperatuur met een herhalingstijd van 50 jaar;
- valt de waarde -15.5°C niet binnen de onzekerheidsband van de minimumtemperatuur met een herhalingstijd van 20 jaar.

De waarden in tabel 1 zijn hoger dan die in de vergelijkbare tabel 2 in KNMI (2011). Dit is grotendeels het gevolg van het toevoegen van de gegevens van meer recente, relatief warme jaren.

Een overzicht van de geschatte herhalingstijden van minimumtemperaturen van -18°C tot -4°C is gegeven in tabel 2.

waarde ($^{\circ}\text{C}$)	herhalingstijd (jaar)
-18	145
-17	84.4
-16	50.4
-15	30.8
-14	19.2
-13	12.2
-12	7.9
-11	5.2
-10	3.5
-9	2.4
-8	1.6
-7	1.1
-6	0.8
-5	0.6
-4	0.4

Tabel 2: Herhalingstijden van gegeven waarden van T_{eff} , bepaald voor het referentiejaar 2008.

Tabel 3 geeft voor gegeven herhalingstijden de bijbehorende schattingen van waarden van T_{eff} ($^{\circ}\text{C}$) voor verschillende referentiejaren. N.b.: de trend in deze waarden kan niet zonder meer naar de toekomst worden geëxtrapoleerd. Schattingen voor recente jaren zijn minder

betrouwbaar omdat deze effectief op minder gegevens gebaseerd zijn. Nadere details van de schattingen voor het jaar 2023 zijn gepresenteerd in Appendix B.

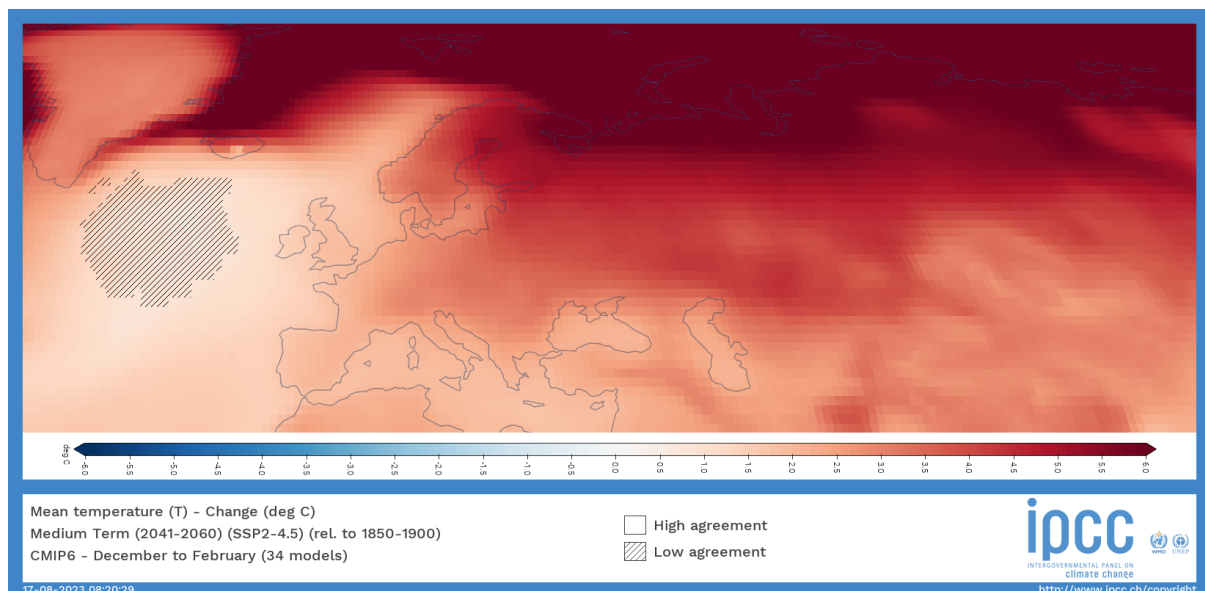
	0.5	1	2	5	10	20	50	100
1908	-6.3	-8.3	-10.2	-12.5	-14.2	-15.7	-17.6	-18.9
1913	-6.3	-8.3	-10.2	-12.5	-14.2	-15.7	-17.6	-19
1918	-6.3	-8.3	-10.2	-12.5	-14.2	-15.7	-17.6	-19
1923	-6.3	-8.3	-10.2	-12.6	-14.2	-15.7	-17.6	-19
1928	-6.3	-8.3	-10.2	-12.6	-14.2	-15.8	-17.7	-19
1933	-6.3	-8.3	-10.2	-12.6	-14.2	-15.8	-17.7	-19
1938	-6.3	-8.3	-10.2	-12.6	-14.2	-15.8	-17.7	-19
1943	-6.3	-8.3	-10.2	-12.6	-14.2	-15.7	-17.6	-19
1948	-6.3	-8.3	-10.2	-12.5	-14.2	-15.7	-17.6	-18.9
1953	-6.2	-8.2	-10.1	-12.5	-14.1	-15.7	-17.6	-18.9
1958	-6.1	-8.2	-10.1	-12.4	-14.1	-15.6	-17.5	-18.8
1963	-6.1	-8.1	-10	-12.3	-14	-15.5	-17.4	-18.8
1968	-6	-8	-9.9	-12.2	-13.9	-15.4	-17.3	-18.7
1973	-5.8	-7.9	-9.8	-12.1	-13.8	-15.3	-17.2	-18.5
1978	-5.7	-7.7	-9.6	-12	-13.6	-15.2	-17.1	-18.4
1983	-5.6	-7.6	-9.5	-11.8	-13.5	-15	-16.9	-18.3
1988	-5.4	-7.4	-9.3	-11.7	-13.3	-14.9	-16.8	-18.1
1993	-5.2	-7.2	-9.2	-11.5	-13.1	-14.7	-16.6	-17.9
1998	-5	-7.1	-9	-11.3	-12.9	-14.5	-16.4	-17.7
2003	-4.8	-6.9	-8.8	-11.1	-12.7	-14.3	-16.2	-17.5
2008	-4.6	-6.7	-8.6	-10.9	-12.5	-14.1	-16	-17.3
2013	-4.4	-6.4	-8.3	-10.7	-12.3	-13.9	-15.8	-17.1
2018	-4.2	-6.2	-8.1	-10.4	-12.1	-13.6	-15.5	-16.9
2023	-4	-6	-7.9	-10.2	-11.9	-13.4	-15.3	-16.6

Tabel 3: Schattingen van waarden van T_{eff} (°C) voor gegeven herhalings tijden in jaar (eerste rij) voor verschillende jaartallen op basis van de geschatte trend (n.b.: de schattingen in tabellen 1 en 2 zijn voor het referentiejaar 2008).

4. Toekomst

Door de toenemende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer neemt wereldwijd de temperatuur toe. In de winter is de komende decennia de verwachte opwarming het grootst in het noordpoolgebied (figuur 3). Hierdoor neemt in Nederland op de koudste winterdagen, als de lucht vaak uit het noordpoolgebied komt, de temperatuur sterker toe dan de wintergemiddelde temperatuur. Dit betekent dat de minimale temperatuur sterker toeneemt dan de wintergemiddelde temperatuur.

De effectieve temperatuur hangt af van de temperatuur en de windsnelheid (vergelijking (1)). De verwachte windsnelheid vertoont geen wezenlijke trend. De verwachte trends in het winterminimum en wintergemiddelde van de effectieve temperatuur zijn daarom vrijwel even groot als de trends van respectievelijk het winterminimum en wintergemiddelde van de luchttemperatuur.



Figuur 3: Wintergemiddelde temperatuurverandering in Europa in 2041-2060 ten opzichte van 1850-1900 bij een gematigd scenario voor de uitstoot van broeikasgassen. Bron: IPCC WGI Interactive Atlas.

Literatuur

de Haan, L, Ferreira, A, 2006: Extreme value theory: an introduction, vol. 3, Springer.

KNMI, 2011: Notitie Gas Transport Service (GTS). Notitie KNMI-2011/1468.

Wever, N, 2008: Effectieve temperatuur en graaddagen – klimatologie en klimaatscenario's. KNMI-publicatie 219.

Wood S N, 2020: Inference and computation with generalized additive models and their extensions. *Test* 29(2):307–339.

Appendix

A Schattingsmethoden

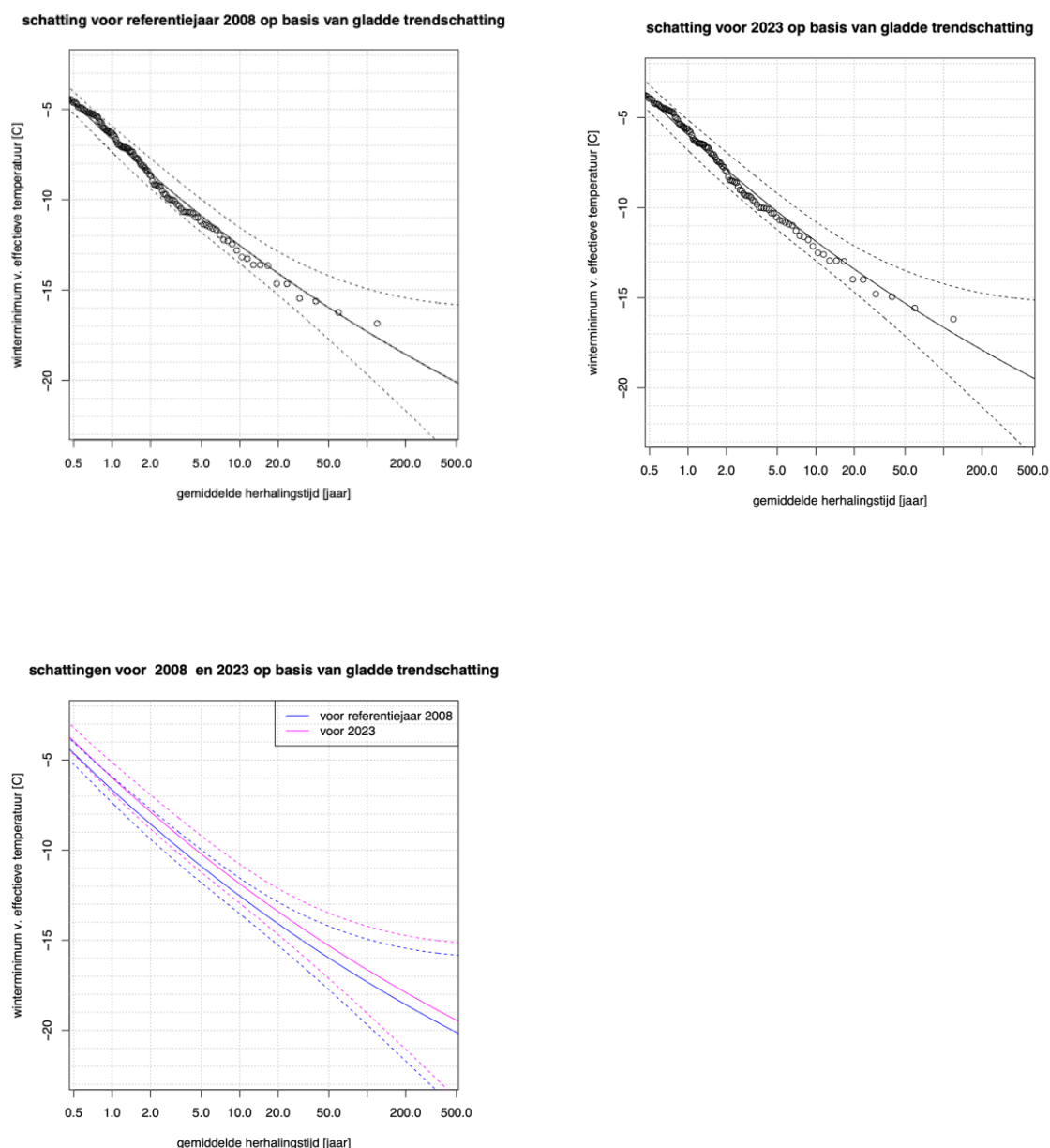
Voor het schatten van een trendlijn wordt gebruik gemaakt van de GAM (Generalized Additive Model) fitting functionaliteit van R-package mgcv. De trendlijn is weergegeven door middel van een spline, d.w.z. een lineaire combinatie van een groot aantal gegeven gladde basisfuncties. De gewichten van de basisfuncties worden geschat uit de gegevens door middel van het maximaliseren van de likelihood plus een kostenfunctie die evenredig is aan de integraal van het kwadraat van de tweede afgeleide van de trendlijn (de “thin-plate-spline”). Het gewicht van deze kostenfunctie wordt eveneens geschat uit de data met behulp van maximalisatie van de “marginal likelihood”; zie bijv. Wood (2020).

Voor schatting van de trendlijn uit de wintergemiddelde effectieve temperatuur is aangenomen dat de afwijkingen van de trendlijn onafhankelijk zijn en normaal verdeeld.

Ook is een experiment uitgevoerd waarin een tijdafhankelijke GEV verdeling direct geschat is uit de winterminima van de effectieve temperatuur. Daarvoor is dezelfde R-functie voor schatting van een GAM gebruikt als boven vermeld, maar nu is een GEV verdeling verondersteld, waarvan de locatieparameter b (zie (2)) een glad verloop in de tijd heeft, en de beide andere parameters constant zijn.

B Schattingen voor 2023

Onderstaande figuur en tabel tonen de schattingen voor het jaar 2023. Figuur B1 (rechtsboven) toont dat de T_{eff} behorend bij een gegeven herhalingstijd ongeveer 0.7°C hoger is dan in de schatting voor het referentiejaar 2008. Ook zijn de betrouwbaarheidsintervallen voor 2023 breder, vooral voor lage herhalingstijden. Daarnaast kan er meer bias verwacht worden in de schattingen voor 2023: dit omdat aan het eind van de tijdreeks de schatting van de trendlijn sterker bepaald wordt door de details van de modelering van de gladde trendlijn.



Figuur B1: schattingen van de kansverdeling van het winterminimum van T_{eff} uit de reeks gecorrigeerd op basis van een gladde trendlijn: schatting voor referentiejaar 2008 (linksboven) en voor 2023 (rechtsboven), en voor beide jaren (onder). Lijnen: schattingen; gestreept: grenzen van 95% betrouwbaarheidsinterval; cirkels: empirische verdeling.

herhalingstijd (jaar)	waarde (°C)	ondergrens (°C)	bovengrens (°C)
0.5	-4	-4.7	-3.2
1	-6	-6.8	-5.1
2	-7.9	-8.8	-6.9
5	-10.2	-11.2	-9.2
10	-11.9	-12.9	-10.8
20	-13.4	-14.7	-12.1
50	-15.3	-17.1	-13.5
100	-16.6	-19.1	-14.2

Tabel B1: Waarden van winterminimum van T_{eff} voor gegeven herhalingstijden, met onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval, bepaald voor het jaar 2023 (Vergelijk met Tabel 1 voor het jaar 2008).