

Postadres: Postbus 201, 3730 AE De Bilt



Bezoekadres: Wilhelminalaan 10

Telefoon 030-220 69 11, telefax 030-221 04 07

Memo

GASUNIE en NAM

Onderwerp

Klimaatverandering en planning van capaciteit en volume

Datum

12 juli 2005

Van

J. Bessembinder

Afdeling

KS-AO

Telefoonnummer

030-2206304

Bijlage(n)

Beste lezer,

Voor u ligt het rapport m.b.t. de vragen van de Gasunie en de NAM over het huidige en toekomstige klimaat. Zoals afgesproken na onze bespreking op 18 april 2005 hebben we een snelle maar vrij grove inschatting gemaakt van de mogelijke veranderingen in de temperaturen (gemiddelden en extremen) voor 2030.

Aan het begin is een samenvatting van de antwoorden op de vragen gegeven. In par. 1 staan de probleembeschrijving en de vragen. Par. 2 geeft een toelichting op de gebruikte gegevens en methoden, en in Par. 3 worden de gegevens geanalyseerd en wordt er uitgebreider antwoord gegeven op de vragen. Niet alle vragen konden volledig beantwoord worden vanwege de beperkte tijd. Waar relevant is aangegeven hoe de analyses mogelijk uitgebreid kunnen worden.

Met vriendelijke groeten,

Janette Bessembinder



Inhoudsopgave

Samenvatting van de antwoorden op de vragen	3
1. Probleembeschrijving en vragen	5
1.1. Zomermaanden	5
1.2. Wintermaanden	5
2. Gebruikte gegevens en methodologie	6
2.1. Gemeten gegevens van station Eelde/Groningen	6
2.2. Gemeten gegevens van station De Bilt	12
2.3. Modelgegevens	19
3. Analyse van historische data en model resultaten voor de toekomst	21
3.1. Eelde: Herhalingstijden voor T_{\max}	21
3.2. Eelde: aantal dagen en uren per jaar met T_{\max} hoger dan $25\text{ }^{\circ}\text{C}$	24
3.3. De Bilt: Herhalingstijden voor T_{eff}	27
3.4. De Bilt: temperatuursom ($18 - T_{\text{gem}}$)	31
4. Referenties	33
ANNEX 1. Metadata van de stations Eelde/Groningen en De Bilt	34
ANNEX 2. Andere methoden voor analyse van extremen	37

Samenvatting van de antwoorden op de vragen

Wat zijn de kansen op verschillende hoge maximale dagtemperaturen, in het verleden en in de toekomst?

M.b.v. figuur 3.1 is af te lezen wat de herhalingstijd is voor een T_{\max} hoger dan 25 °C. Bijv. in de periode 1906-1990 was de herhalingstijd voor een T_{\max} van 31,0 °C 1 maal per 2 jaar. Voor 2030 wordt geschat dat 1 maal per 2 jaar een T_{\max} van 32,7-33,5 °C kan optreden. In de periode 1906-1990 hoort bij deze temperaturen een herhalingstijd van 1 maal per 5 - >10 jaar. De standaardafwijking van de gemiddelden voor 1990 en 2030 is geschat op ong. 0,5 °C. De lijn voor 2030 ligt 2-7 maal (afhankelijk van het normalisatiejaar en de T_{\max}) deze std. hoger dan de lijn voor 1906-1990.

Wat is het gemiddelde aantal dagen per jaar met meer dan 25 °C, in het verleden en in de toekomst?

Een T_{\max} van 25 °C of hoger kwam in de periode 1906-1990 gemiddeld 14,7 dagen per jaar voor (par. 3.2), en in de periode 1991-2004 gemiddeld 23,2 dagen. Het geschatte aantal dagen met een T_{\max} boven de 25 °C voor 2030 wijkt meer dan 1 * de std. van de gemiddelden (2,4-2,6 dagen) af van de waarde voor de periode 1961-1990 (tabel 3.2).

Wat is het aantal uren per zomer met buitentemperaturen hoger dan 25 °C?

Deze vraag kan niet direct beantwoordt worden, maar er kan wel een indicatie worden gegeven m.b.v. het aantal dagen met een $T_{\max} > 25$ °C (zie hierboven), de temperatuursom boven 25 °C, en de gemiddelde T_{\max} op dagen met een $T_{\max} > 25$ °C (zie Tabel 3.1 en 3.2). De geschatte temperatuursom boven 25 °C ($T_{\max} - 25$) voor 2030 wijkt voor beide schattingen in tabel 3.2 meer dan 1 * de std. van de gemiddelden (11,1-10,1 °Cd) af van de waarde voor de periode 1961-1990 (observaties). Het zelfde geldt voor de gemiddelde T_{\max} op dagen met een T_{\max} boven de 25 °C (std van de gemiddelden 0,22-0,21 °C). Op basis van RACMO, lijkt het dus aannemelijk dat het aantal uren per zomer met buitentemperaturen hoger dan 25 °C duidelijk zal toenemen tot 2030.

Wat is een typische zomer met een frequentie van eens per 5, 10 en 20 jaar, uitgedrukt in aantal dagen met een maximum dagtemperatuur boven de 25 °C?

In de periode 1906-1990 was 1 maal per 6 jaar het aantal dagen met een $T_{\max} > 25$ °C groter dan 19 dagen, 1 maal per 12 jaar was het aantal dagen groter dan 25, en 1 maal per 17 jaar was het aantal dagen groter dan 30. (Tabel 3.1).

Is de frequentie van 3 maal sinds 1920 voor een effectieve temperatuur van -17°C in overeenstemming met de KNMI-cijfers of moet hiervoor een andere frequentie worden gehanteerd? Wat is de frequentie van andere lage effectieve temperaturen? Veranderen deze frequenties in de toekomst?

Een $T_{\text{eff,geo}}$ van -17 °C of lager is tussen 1920 en 2004 3 maal voorgekomen, en een $T_{\text{eff,cum}}$ van -17 °C of lager 4 maal. Op basis van de observaties kan geconcludeerd worden dat een effectieve temperatuur van -17 °C of lager in de periode 1906-1990 een herhalingstijd van 1 maal per 22,6 jaar had (figuur 3.2). Voor een T_{eff} van -10 °C of lager was de herhalingstijd 1 maal per 2,1 jaar. Voor 2030 wordt de herhalingstijd voor een T_{eff} van -17 °C of lager geschat op 1 maal per 46,9 jaar, en voor een T_{eff} van -10 °C of lager op 1 maal per 3,2 jaar. De standaardafwijking van de gemiddelden van de observaties en de schatting voor 2030 is 0,92 °C. De lijnen voor de herhalingstijden op basis van de observaties en voor 2030 (fig. 3.2) liggen iets meer dan 1 maal deze std. van elkaar. Tot 2030 is de verandering in herhalingstijden dus relatief klein en bovendien is er een vrij grote bias tussen observaties en controlerun. Daarom kan er geen uitspraak gedaan worden over de veranderingen van de herhalingstijden voor lage T_{eff} tot 2030 t.o.v. de periode 1906-1990.

Wat is de huidige gemiddelde temperatuursom ($18-T_{\text{gem}}$) in het winterhalfjaar en hoe verandert deze in de toekomst?

Voor de periode 1906-1960 was de gemiddelde winter-temperatuursom 2441 °Cd, en voor de periode 1991-2004 was deze 2232 °Cd (zie tabel 3.5). De met RACMO geschatte verandering voor 2030 t.o.v. 1961-1990 in de wintertemperatuur som ($18-T_{\text{gem}}$) is bijna 4 maal de standaardafwijking van de gemiddelden (51,6 °Cd). Ook andere modellen geven aan dat de gemiddelde temperatuur zal stijgen in de toekomst. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de wintertemperatuursom ($18-T_{\text{gem}}$, oktober-maart) in te toekomst zal afnemen.

Met welke frequentie treden extremen in wintertemperatuursommen op?

In de periode voor 1991 is de frequentie van extreme wintertemperatuursom het volgende geweest:

>2800 °Cd	4 maal (1 maal in de 21,3 jaar)
>2700 °Cd	7 maal (1 maal in de 12,1 jaar)
>2600 °Cd	12 maal (1 maal in de 7,1 jaar).

Om meer te kunnen zeggen over de herhalingsfrequentie van wintertemperatuursommen (en een winter als 1962/63) moet bijv. gebruik gemaakt worden van methoden zoals beschreven in Annex 2.

Voor de toekomst-analyses in dit rapport is gebruik gemaakt van 1 model (RACMO) en 1 emissie-scenario (A2). Andere modellen en emissiescenario's kunnen een wat ander beeld geven van het klimaat in de toekomst (zie par. 2.3).

1. Probleembeschrijving en vragen

1.1. Zomermaanden

Om gasproductie uit het Groningen veld mogelijk te maken, wordt gebruik gemaakt van compressoren. Om het gas vervolgens aan de Gasunie te kunnen afleveren moet het eerst worden gedroogd, waarbij o.a. water wordt verwijderd. Hiervoor moet het gas worden gekoeld. De performance van een aantal van de koelers in dit proces, en daarmee de productiecapaciteit, is afhankelijk van de buitentemperatuur.

In het verleden vormden hoge temperaturen in de zomer niet of nauwelijks een probleem, maar wordt door toenemende inzet van compressie op termijn actueel. Binnen de NAM / Gasunie bestaan daarom geen duidelijke indicatoren voor warme zomers. Op het KNMI wordt bij maximale dagtemperaturen vanaf 25 °C gesproken van een zomerse dag. In de rest van dit rapport is deze maximale dagtemperatuur van 25 °C als grens genomen voor allerlei berekeningen.

Voor het plannen van de koelingfaciliteiten is antwoord op onderstaande vragen nodig:

- Wat zijn de kansen op verschillende hoge maximale dagtemperaturen, in het verleden en in de toekomst?
- Wat is het gemiddelde aantal dagen per jaar met meer dan 25 °C, in het verleden en in de toekomst?
- Wat is het aantal uren per zomer met buitentemperaturen hoger dan 25 °C?
- Wat is een typische zomer met een frequentie van eens per 5, 10 en 20 jaar, uitgedrukt in aantal dagen met een maximum dagtemperatuur boven de 25 °C?

De gasvelden liggen voornamelijk in het noorden van Nederland, vandaar dat de temperatuur zoals gemeten op Station Eelde (voorheen Groningen) het meest relevant is.

1.2. Wintermaanden

Voor de planning van de gevraagde capaciteit en productievolume maakt Gasunie gebruik van klimaatgegevens. Capaciteit is hierbij gedefinieerd als het maximale aantal kubieke meter gas per uur dat de markt onder bepaalde (winterse) omstandigheden kan vragen. Het volume is hierbij het totale jaarvolume in kubieke meters dat de markt kan afnemen. Grofweg genomen bestaat het energieverbruik van de markt uit een basisverbruik met daarbovenop een temperatuur afhankelijk deel – meer gebruik bij lage temperaturen. De temperatuur is derhalve erg belangrijk voor het inschatten van het energieverbruik van de markt. Het is vervolgens aan de NAM om

haar productiemiddelen dusdanig in te zetten dat zij aan de gevraagde capaciteit en volume kan voldoen. De planningsbasis voor Gasunie en NAM loopt tot 2030.

Centraal begrip bij de planning is de "effectieve temperatuur" (hier gebruikte definitie: $T_{\text{eff}} = T_{\text{gem}} - V_{\text{wind}}/1,5$, met de windsnelheid V gemeten in m/s op 10 m hoogte, en de gemiddelde dagtemperatuur T_{gem} in °C). Voor Nederland zowel als voor omringende landen wordt de temperatuur in de Bilt gebruikt als maat voor het inschatten van de energievraag. Bij de inschatting van de totale vraag naar gas in een seizoen of een jaar gaat men uit van de temperatuursom onder 18 °C ($18 - T_{\text{gem}}$, waarbij temperaturen boven 18 °C niet worden meegenomen).

Bij de planning van de productie is het belangrijk te kunnen voldoen aan de vraag bij extremen i.v.m. de leveringszekerheid en wettelijke taken. Extreem lage effectieve temperaturen op één dag spelen daarom een belangrijke rol bij de planning van de capaciteit. Onder deze condities geldt dat maximaal 1 uur per 50 jaar niet aan de vraag kan worden voldaan. Als uitgangspunt voor bepaling van de maximale capaciteit wordt uitgegaan van een gemiddelde effectieve dagtemperatuur van -17 °C, gebaseerd op historische gegevens. Volgens eigen analyses van Gasunie / NAM is een gemiddelde effectieve temperatuur van ≤ -17 °C 3 maal voorgekomen vanaf 1920. Daarnaast houdt men rekening met het totale volume dat in een jaar of een winter geproduceerd moet worden (gemiddelde en extremen).

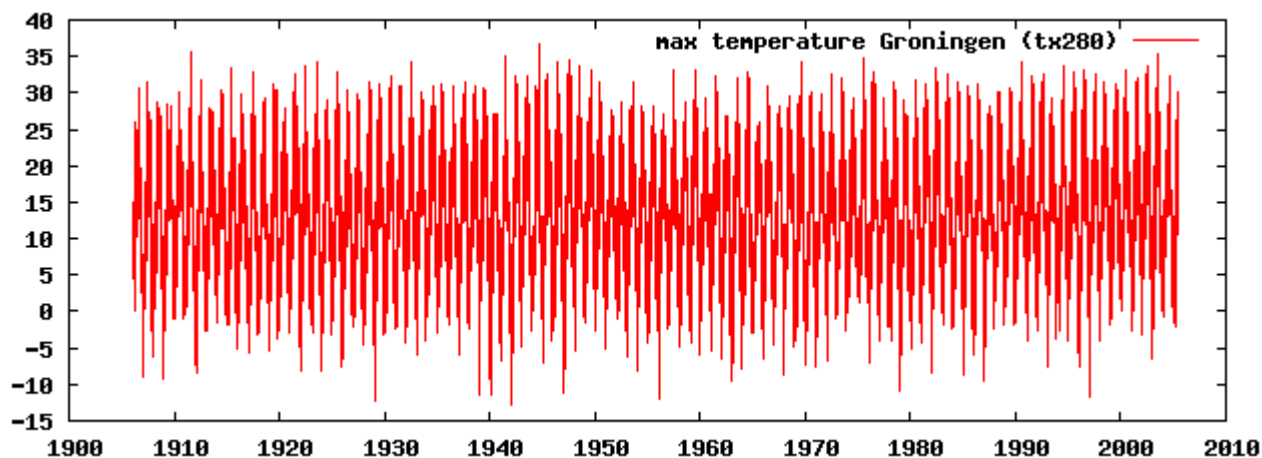
Voor het plannen van het volume en de capaciteit is antwoord op onderstaande vragen nodig:

- Is de frequentie van 3 maal sinds 1920 voor een effectieve temperatuur van -17°C in overeenstemming met de KNMI-cijfers of moet hiervoor een andere frequentie worden gehanteerd? Wat is de frequentie van andere lage effectieve temperaturen? Veranderen deze frequenties in de toekomst?
- Wat is de huidige gemiddelde temperatuursom ($18 - T_{\text{gem}}$) in het winterhalfjaar en hoe verandert deze in de toekomst?
- Met welke frequentie treden extremen in temperatuursommen op?

2. Gebruikte gegevens en methodologie

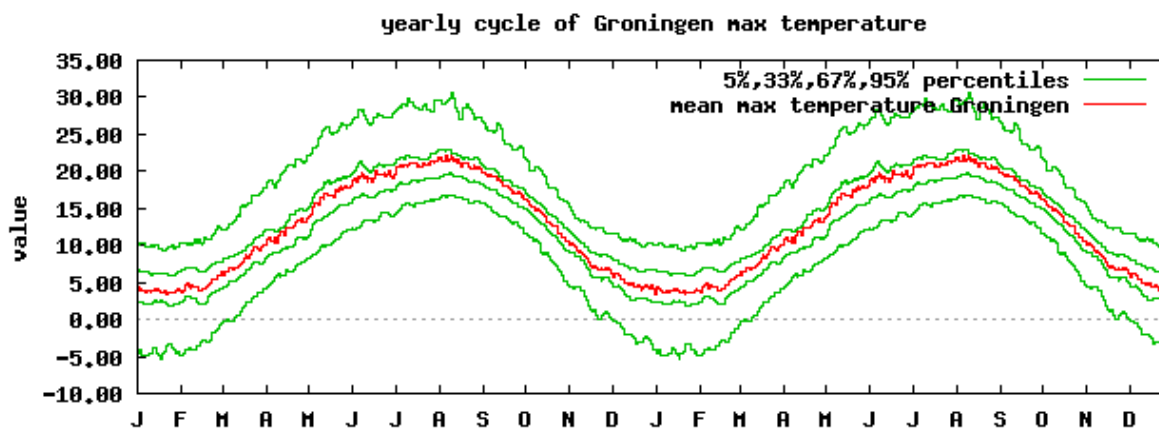
2.1. Gemeten gegevens van station Eelde/Groningen

Voor de analyses zijn gegevens gebruikt van de Klimatologische Dienst van het KNMI voor station Eelde (voorheen Groningen, coördinaten vanaf febr. 1946: 53.13N, 6.58E, 3.5m, station code: 280, dagelijkse gegevens van 1906-2004; <http://www.knmi.nl/voorl/kd/lijsten/daggem/etmgeg.cgi>; zie Annex 1).

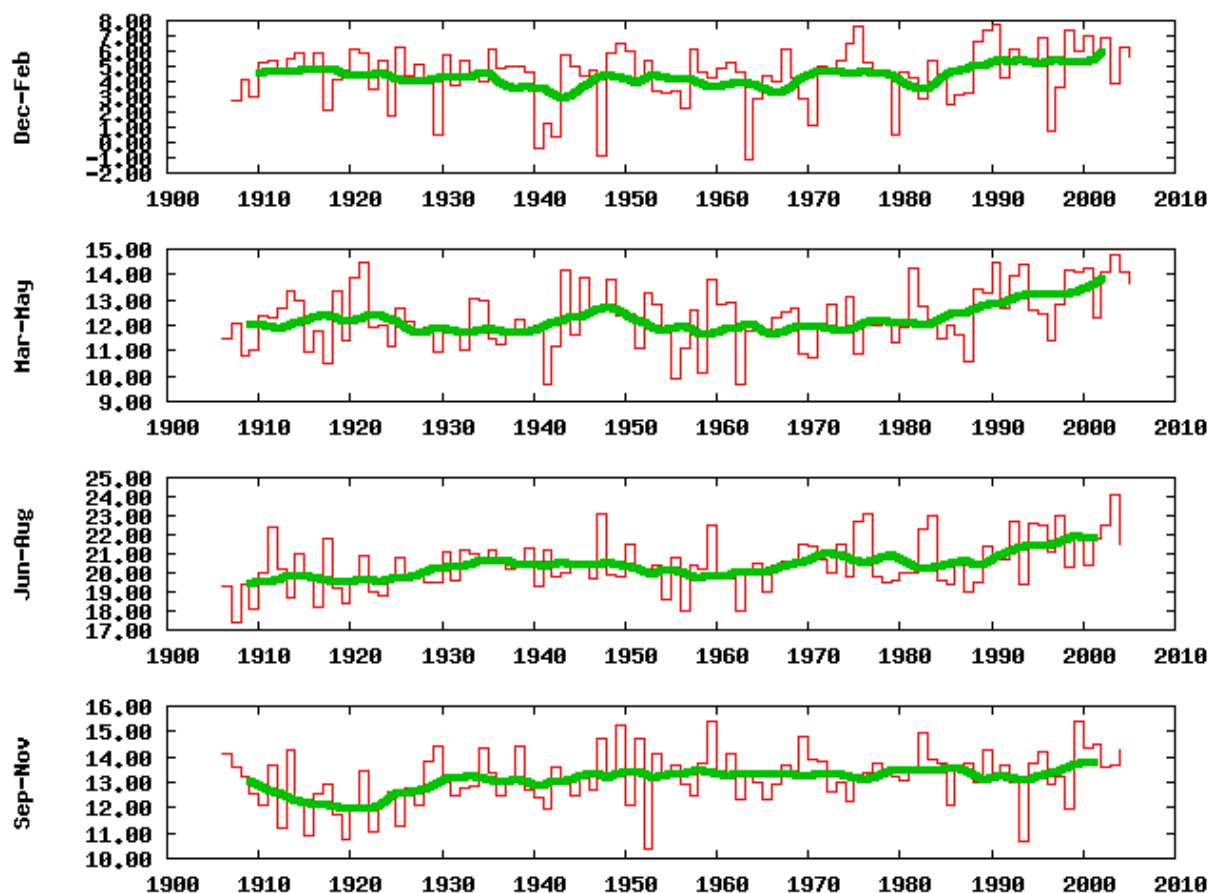


Figuur 2.1. Dagelijkse maximale dagtemperaturen in Station Eelde/Groningen voor de periode 1906-2005.

Eerst zijn de gegevens gecheckt op uitschieters en eventueel aanwezige trends. In figuur 2.1 zijn de dagelijkse maximale dagtemperaturen (T_{\max}) geplott. Er zijn geen duidelijke uitschieters of trendbreuken zichtbaar a.g.v. bijvoorbeeld veranderingen in meetmethoden of de plaats van meting (zie annex 1). In 1946 is het weerstation verplaatst van Groningen naar Eelde. Dit heeft echter geen significante verandering in de maximale jaarlijkse T_{\max} opgeleverd (gemiddelde van voor en na 1946 verschilt $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$, en is niet significant verschillend; als het verschil wel significant zou zijn geweest, had de T_{\max} van voor 1946 naar beneden bijgesteld moeten worden. Dit zou hebben geleid tot langere herhalingstijden in figuur 3.1).



Figuur 2.2 Jaarlijkse gang van de gemiddelde maximale dagtemperatuur in Station Eelde/Groningen (telkens gemiddelde van 5 dagen), gebaseerd op de jaren 1906-2005 (2 jaar weergegeven om het aflezen aan de randen te vergemakkelijken). De rode lijn geeft het gemiddelde; voor de bovenste groene lijn geldt dat het 5-daagse gemiddelde in 95% van alle gevallen daaronder ligt, bij de 1 na bovenste lijn geldt dat voor 67%, etc.).



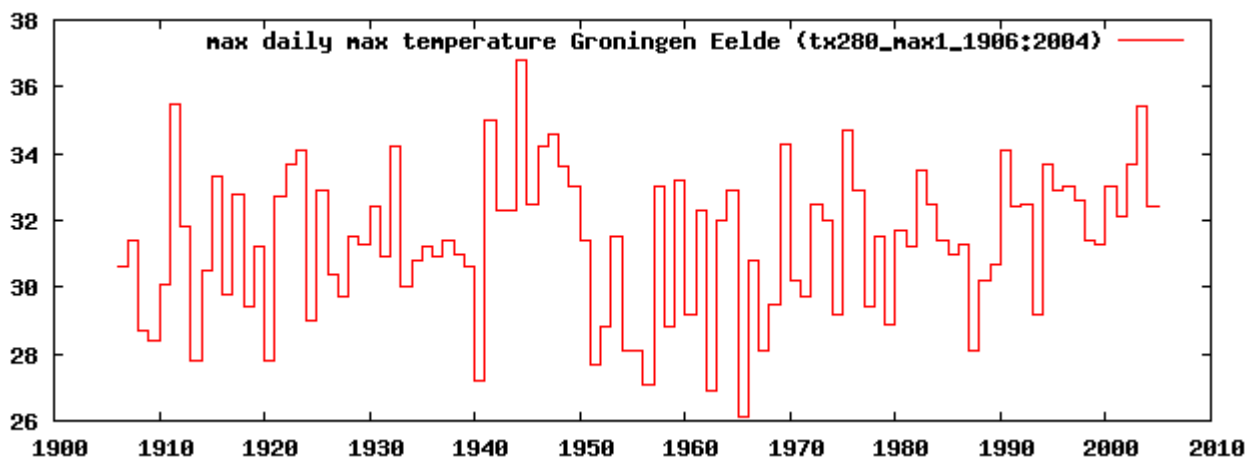
Figuur 2.3 Gemiddelde maximale dagtemperatuur per seizoen in Station Eelde/Groningen (de groene lijn geeft het 10-jarig doorlopende gemiddelde).

Figuur 2.2 laat de jaarlijkse gang van de gemiddelde T_{max} zien, gebaseerd op de jaren 1906-2005 (de rode lijn geeft het 5 daagse doorlopende gemiddelde). In deze figuur is te zien dat de gemiddelde T_{max} rond de 20 °C ligt in de maanden juni t/m september, maar dat de kans op een T_{max} van 25 °C of hoger voor die maanden tussen de 5 en 33 % ligt.

Figuur 2.3 geeft per seizoen de gemiddelde T_{max} (de lijn geeft het 10-jarig doorlopende gemiddelde). Vooral in de perioden maart-mei en juni-augustus lijkt er een opgaande trend zichtbaar. Vanaf ong. 1990 lijkt de gemiddelde T_{max} te stijgen. Ook in andere deelperioden van 1906-1990 zijn wel trends waar te nemen, maar deze kunnen grotendeels aan natuurlijke variatie of natuurlijke invloeden worden toegeschreven. Vanaf ongeveer 1990 wordt de menselijke invloed duidelijker zichtbaar (langjarig gemiddelde hoger dan variatie in periode voor 1991). De periode 1961-1990 wordt bovendien vaak gebruikt als referentie voor ons huidige klimaat. Bij de analyses is daarom besloten een onderscheid te maken tussen de periode voor en na 1990.

In figuur 2.4 zijn de jaarlijkse maximale T_{max} uitgezet. Voor de periode 1906-2004 is het gemiddelde 31,3 °C met een std. van 2,14, voor de

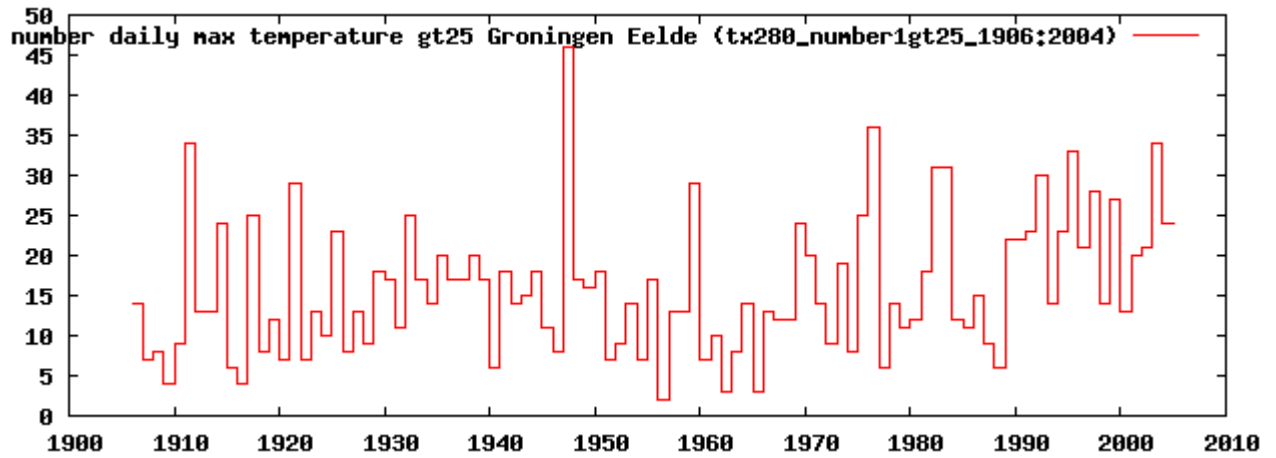
periode 1906-1990 is het gemiddelde $31,1$ °C, en voor de periode 1991-2004 is het gemiddelde $32,5$ °C. In de periode voor 1991 is geen trend zichtbaar ($R^2 < 0,00$). In de periode vanaf 1991 is er een lichte opgaande trend ($R^2 = 0,13$) in de jaarlijkse maximale T_{\max} .



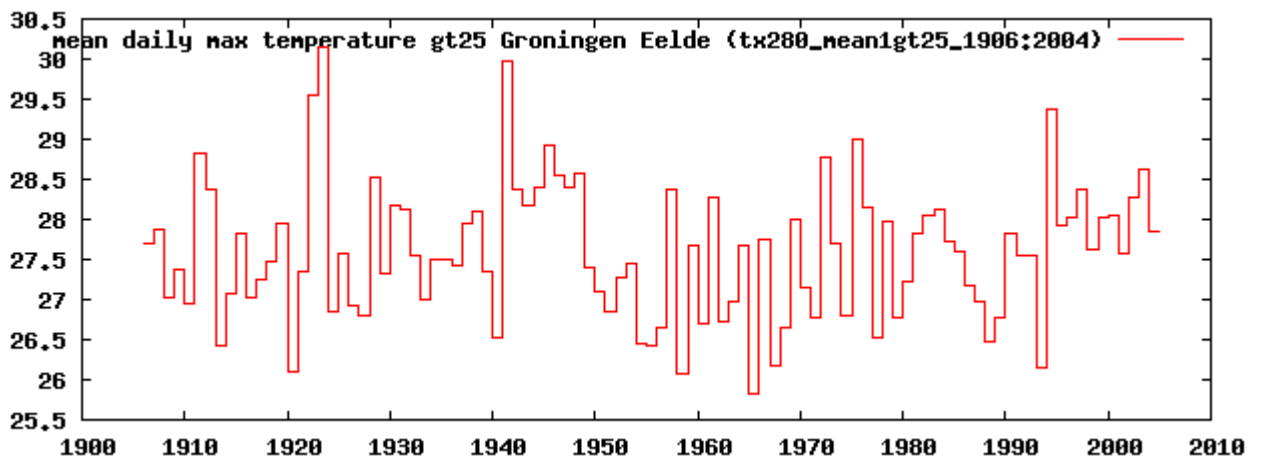
Figuur 2.4. Jaarlijkse hoogste maximale dagtemperatuur in Eelde/Groningen.

Voor Eelde, net als voor andere KNMI stations, wordt per uur de temperatuur gemeten. Hiermee is een vrij nauwkeurige analyse mogelijk van het aantal uren per jaar met temperaturen boven de 25 °C en de variatie tussen jaren. Dit vergt echter meer tijd dan we nu hebben. Een combinatie van het aantal dagen met een T_{\max} boven de 25 °C en de gemiddelde T_{\max} op die dagen kan wel een indicatie geven van het totale aantal uren per jaar met temperaturen boven de 25 °C. Eventueel kan later, op basis van historische gegevens, gekeken kunnen worden wat de relatie is tussen het aantal dagen met een T_{\max} boven de 25 °C en de gemiddelde T_{\max} op die dagen met het totale aantal uren per jaar met temperaturen boven de 25 °C.

Figuur 2.5. laat het aantal dagen per jaar met een T_{\max} boven de 25 °C zien. De variatie tussen de jaren is groot, maar voor de periode 1906-1990 is er geen duidelijke trend zichtbaar ($R^2 = 0,01$). Na ongeveer 1990 lijkt er toch een toename van het aantal dagen per jaar te zijn met een T_{\max} hoger dan 25 °C ($R^2 = 0,10$). Het gemiddelde aantal dagen met T_{\max} hoger dan 25 °C is $15,8$ dagen per jaar voor de periode 1906-2004 (range 3-46 dagen, std. 8,4), maar $14,7$ dagen per jaar voor de periode 1906-1990, en $23,2$ dagen per jaar voor de periode 1991-2004 (range 13-34 dagen). De standaardafwijking van de gemiddelden voor de periode voor en na 1991 is $1,9$ dagen.

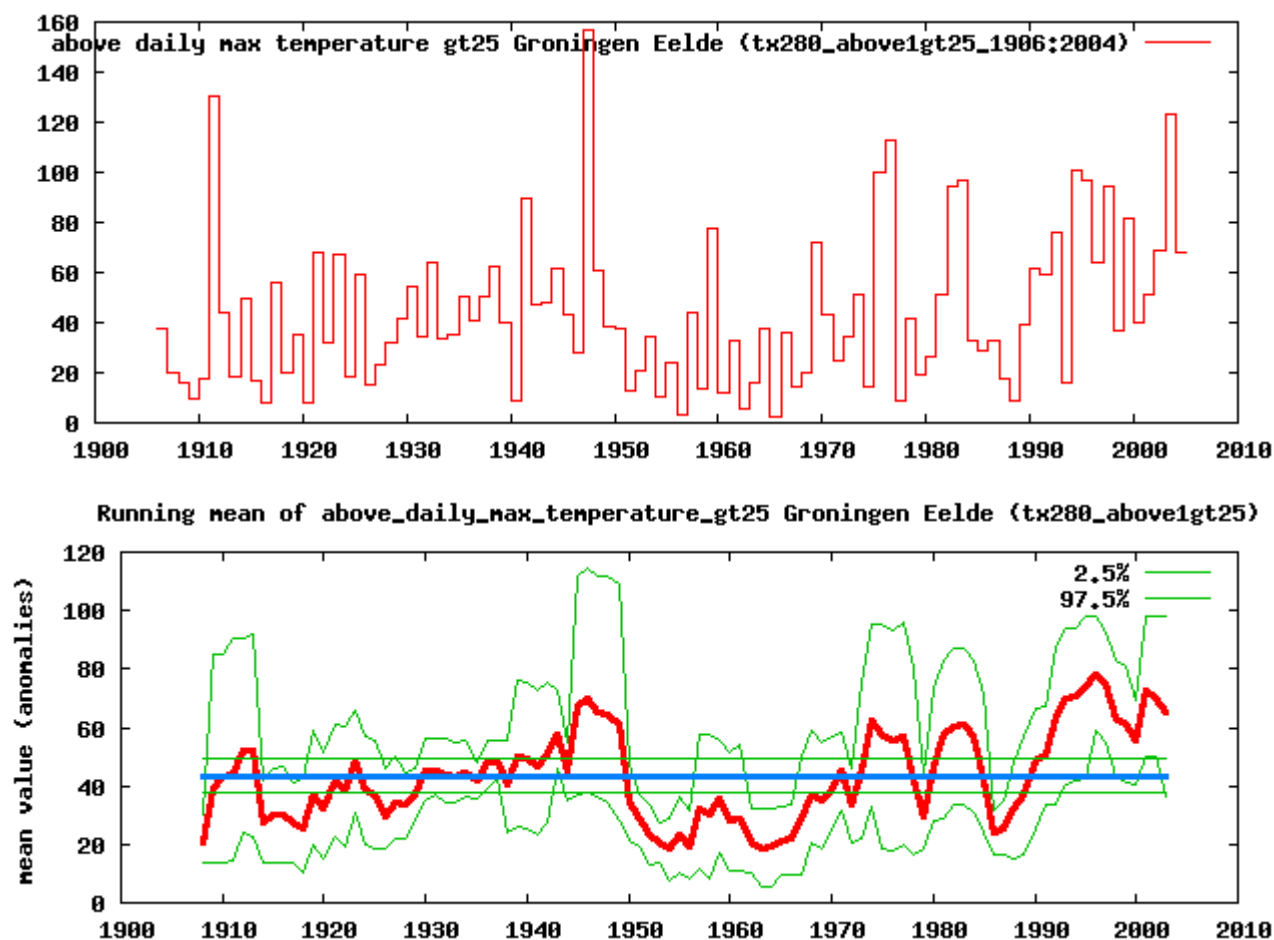


Figuur 2.5. Aantal dagen per jaar met een maximale dagtemperatuur hoger dan 25 °C in Eelde.



Figuur 2.6. Gemiddelde jaarlijkse maximale dagtemperatuur op de dagen met een maximale dagtemperatuur hoger dan 25 °C in Eelde.

Figuur 2.6 geeft de gemiddelde T_{\max} op de dagen met een T_{\max} hoger dan 25 °C. Deze is 27,6 °C voor de periode 1906-2004 (range 25,8-30,2 °C; std. 0,8), maar 27,5 voor de periode 1906-1990, en 27,9 voor de periode 1991-2004 (range 26.2-29.4 °C). De gemiddelde T_{\max} van de dagen met een T_{\max} groter dan 25 °C is dus niet sterk gestegen (geen trend zichtbaar, $R^2 < 0,00$). De standaardafwijking van de gemiddelden voor de periode voor en na 1991 is 0,2 °C.



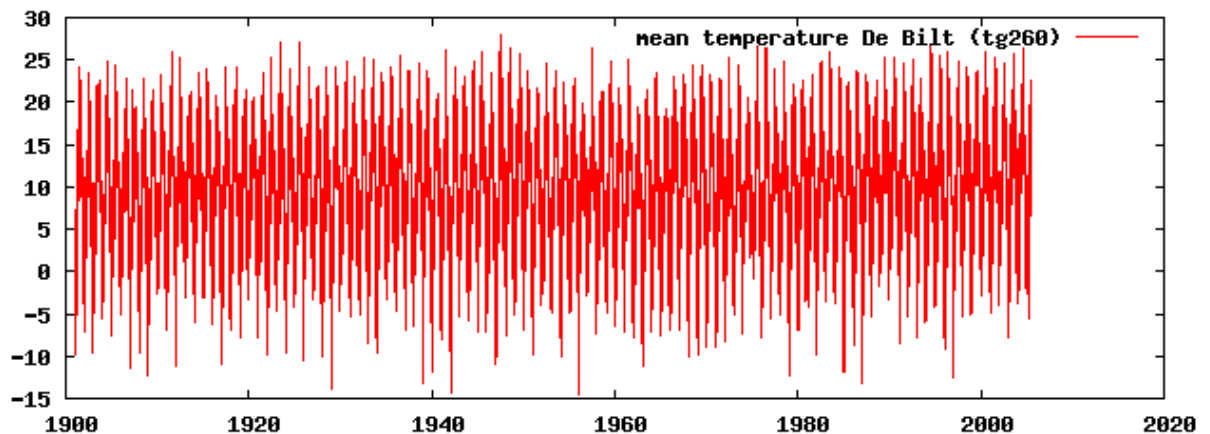
Figuur 2.7. Jaarlijkse temperatuursom van het aantal graaddagen boven 25 °C ($T_{\max-25}$), gebaseerd op de maximale dagtemperatuur in Eelde. Het bovenste deel laat de temperatuursom per jaar zien en het onderste deel het gemiddelde over de hele periode (blauwe lijn), het doorlopende gemiddelde van 5 jaar (rode lijn) en de waarschijnlijkheid (bovenste groene lijn: 97,5% van de waarschuwingen was lager of gelijk aan deze temperatuursom).

Ook de temperatuursom per jaar van het aantal graden boven 25 °C ($T_{\max-25}$, gesommeerd over het jaar) geeft een indicatie van het aantal uren met een T_{\max} boven 25 °C per jaar. Figuur 2.7 geeft een overzicht van deze jaarlijkse temperatuursommen. De gemiddelde temperatuursom voor de periode 1906-2004 is 43,5 °Cd (range 2,5-156,5 °Cd, std. 30,3), maar 39,5 voor de periode 1906-1990, en 69,8 voor de periode 1991-2004 (range 16,2-123,3 °Cd). De temperatuursom lijkt dus te zijn gestegen (std. van de gemiddelden voor de periode voor en na 1991 is 8,0 °Cd), maar de variatie tussen jaren is groot.

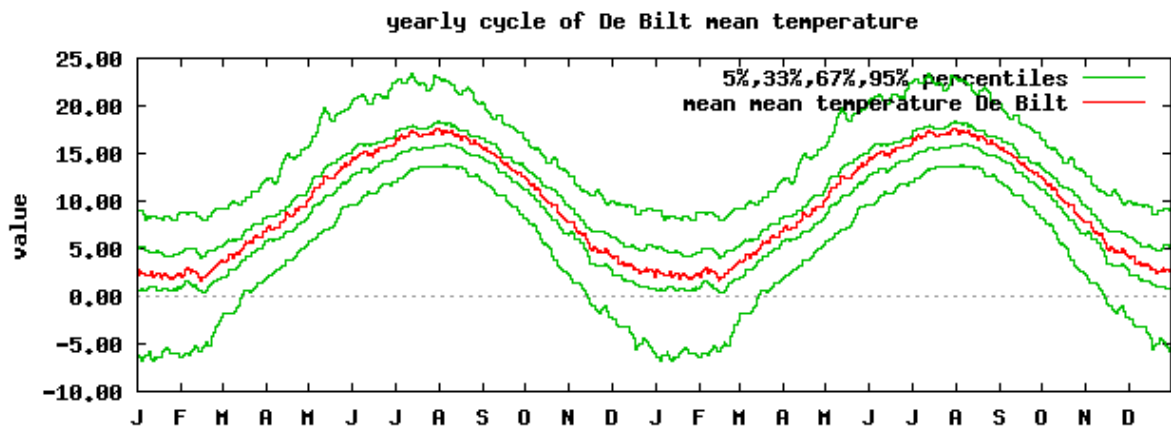
2.2. Gemeten gegevens van station De Bilt

Voor de analyses zijn gegevens gebruikt van de Klimatologische Dienst van het KNMI voor station De Bilt (coördinaten vanaf jan. 1901: 52° 06' N. 05° 11'E, 2,0 m, station code: 260, dagelijkse gegevens van 1901-2004; <http://www.knmi.nl/voorl/kd/lijsten/daggem/etmgeg.cgi>; zie Annex 1).

Eerst zijn de gegevens gecheckt op uitschieters en eventueel aanwezige trends. In figuur 2.8 zijn de dagelijkse gemiddelde dagtemperaturen (T_{gem}) geplot. Er zijn geen duidelijke uitschieters of trendbreuken zichtbaar a.g.v. bijvoorbeeld veranderingen in meetmethoden of de plaats van meting (zie annex 1).

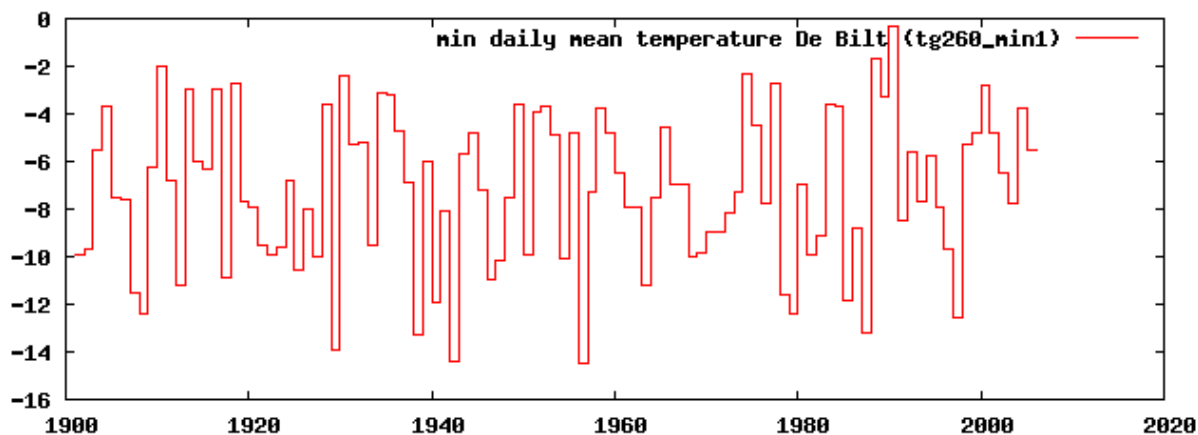


Figuur 2.8. Dagelijkse gemiddelde dagtemperaturen in Station De Bilt voor de periode 1901-2005.

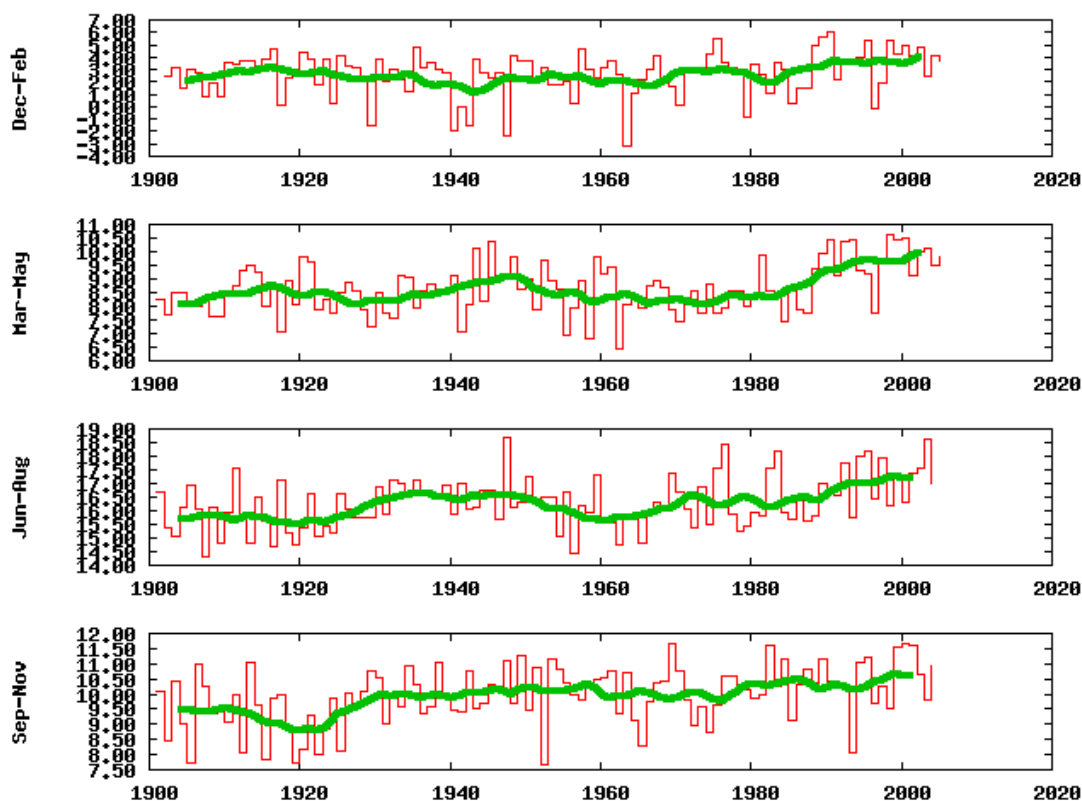


Figuur 2.9. Jaarlijkse gang van de gemiddelde dagtemperatuur in Station De Bilt (gemiddelden van 5 dagen), gebaseerd op de jaren 1901-2005. 2 jaar weergegeven om het aflezen aan de randen te vergemakkelijken. De rode lijn geeft het gemiddelde; voor de bovenste groene lijn geldt dat het 5-daagse gemiddelde in 95% van alle gevallen daaronder ligt, bij de 1 na bovenste lijn geldt dat voor 67%, etc.).

Figuur 2.9 laat de jaarlijkse gang van de gemiddelde T_{gem} zien, gebaseerd op de jaren 1901-2005 (de rode lijn geeft het 5 daagse doorlopende gemiddelde). In deze figuur is te zien dat de 5-daagse gemiddelde T_{gem} altijd boven de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligt. De kans op een T_{gem} lager dan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ is klein. Figuur 2.10 geeft de jaarlijkse minimale T_{gem} . Ook in deze figuur is te zien dat T_{gem} in veel jaren niet onder de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ komt.



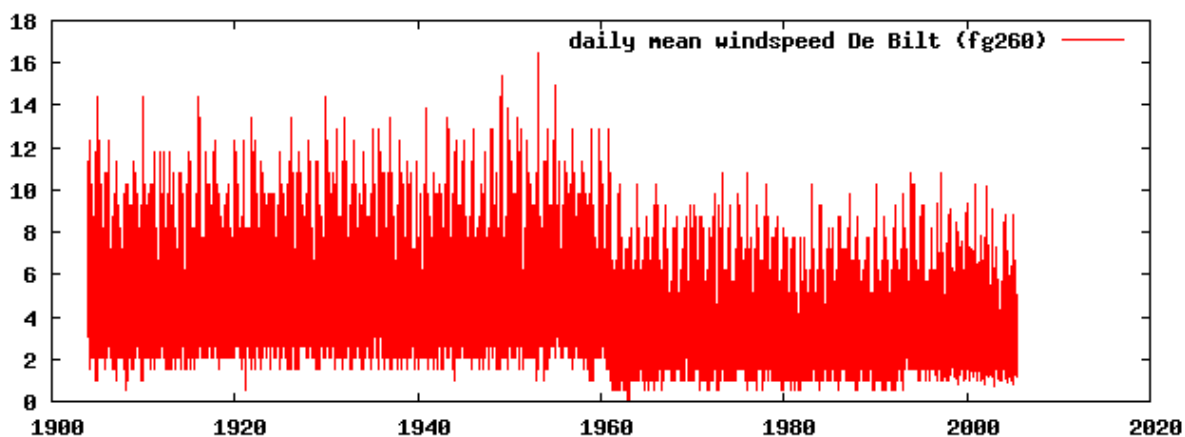
Figuur 2.10. Jaarlijkse minimale gemiddelde dagtemperatuur in Station De Bilt voor de jaren 1901-2005.



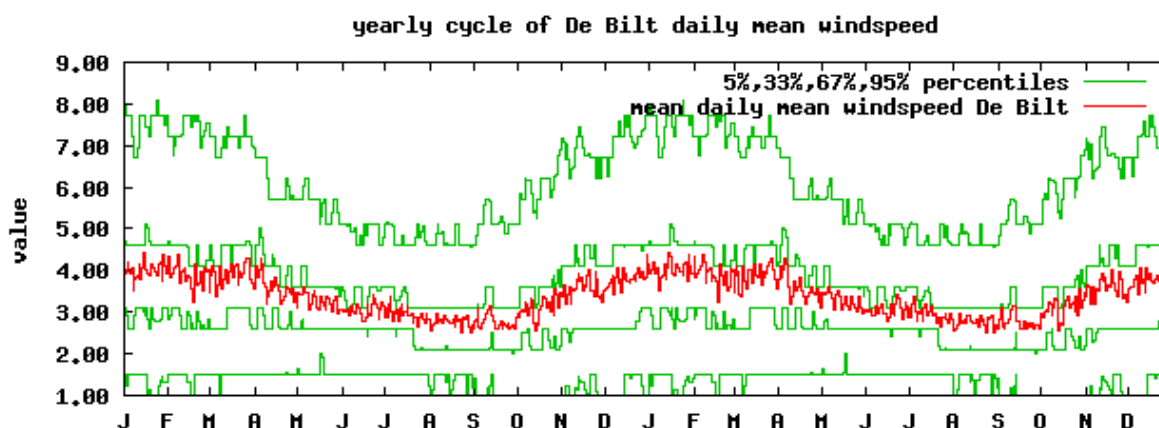
Figuur 2.11. Gemiddelde dagtemperatuur per seizoen in Station De Bilt voor de periode 1901-2005 (de groene lijn geeft het 10-jarig doorlopende gemiddelde).

Figuur 2.11 geeft per seizoen de gemiddelde T_{gem} . Vooral vanaf ong. 1990 lijkt de gemiddelde T_{gem} te stijgen (deze periode 1961-1990 wordt vaak gebruikt als referentie voor ons huidige klimaat) in de perioden maart-mei en juni-augustus. Daarom is besloten bij de analyses een onderscheid te maken tussen de periode voor en na 1990.

Ook de gegevens voor wind zijn gecheckt op uitschieters en eventueel aanwezige trends. In figuur 2.12 zijn de dagelijkse gemiddelde windsnelheden (W_{gem}) voor De Bilt geplote. Er zijn duidelijke trendbreuken zichtbaar a.g.v. veranderingen in meetmethoden/hogten (zie annex 1), vooral rond 1961 en 1993. De gegevens moeten dus eerst gehomogeniseerd worden, voordat alle gegevens over de periode 1904-2004 te gebruiken zijn.



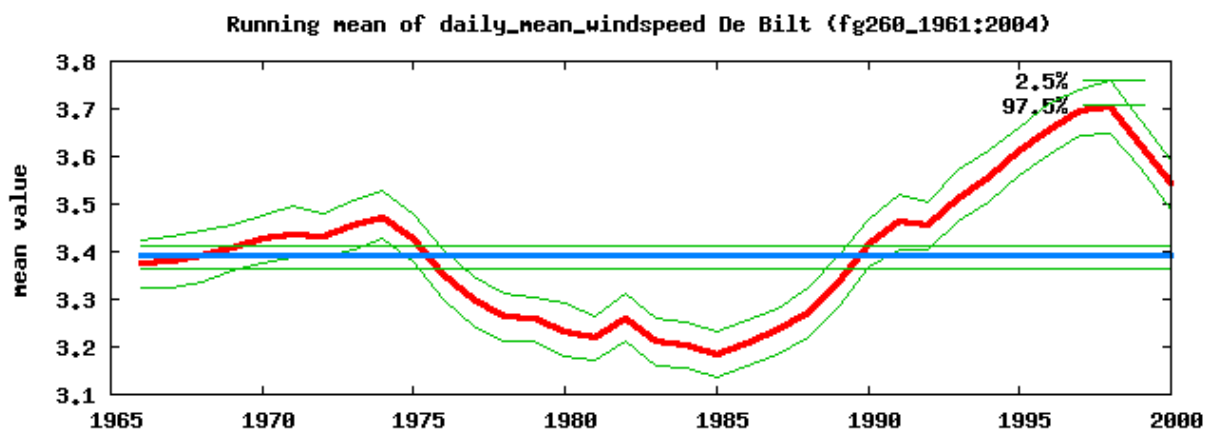
Figuur 2.12. Dagelijkse gemiddelde windsnelheid in Station De Bilt voor de periode 1904-2005.



Figuur 2.13 Jaarlijkse gang van de gemiddelde windsnelheid (op 10 m) in Station De Bilt (gemiddelde van 5 dagen), gebaseerd op de jaren 1961-2005. 2 jaar weergegeven om het aflezen aan de randen te vergemakkelijken. De rode lijn geeft het gemiddelde; bovenste groene lijn: 5-daagse gemiddelde in 95% van alle gevallen daaronder, bij de 1 na bovenste lijn geldt dat voor 67%, etc.).

Figuur 2.13 laat de jaarlijkse gang van de gemiddelde W_{gem} op 10 m zien, gebaseerd op de jaren 1961-1990 (de rode lijn geeft het 5 daagse doorlopende gemiddelde). In deze figuur is te zien dat de gemiddelde W_{gem} tussen de 3 en 4,5 m/s ligt. De volgende figuur laat zien dat de gemiddelde windsnelheid in de loop van de jaren varieert.

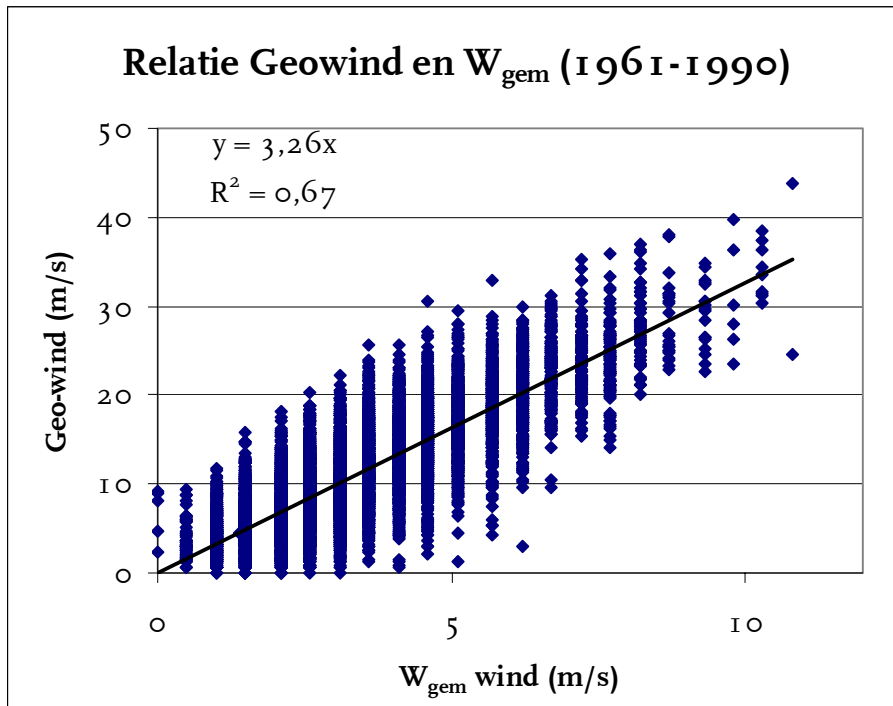
De gemiddelde windsnelheid voor 1961 is niet gehomogeniseerd (wordt wel aan gewerkt door Theo Brandsma). Er zijn verschillende opties om de wind van voor 1961 voor de vragen van de Gasunie/NAM op een snelle, maar vrij grove manier te homogeniseren.



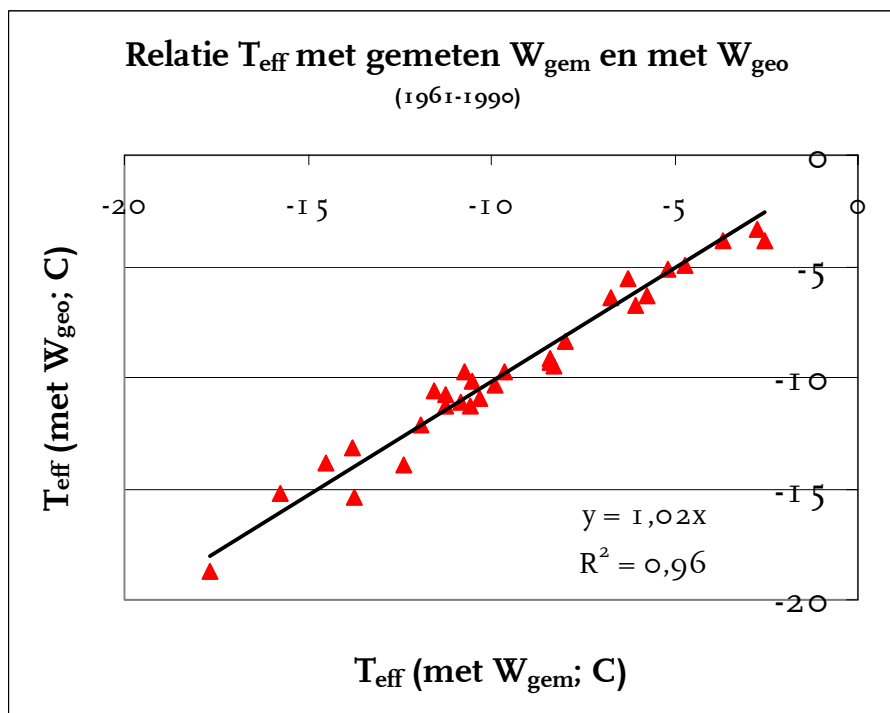
Figuur 2.14. Gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in Station De Bilt (de rode lijn geeft het 10-jarig doorlopende gemiddelde).

De eerste manier is het gebruik van de Geo-wind (Können, 1999) om de wind op 10 m te schatten en daarmee de effectieve temperatuur. In figuur 2.15 is de relatie tussen de Geo-wind en de gemeten wind (10 m) voor station De Bilt voor de periode 1961-1990 bepaald. Probleem hierbij is dat de relatie tussen Geo-wind en “10 m” wind geen erg hoge R^2 heeft. Een behoorlijke over- of onderschatting is dus mogelijk. Als dit net gebeurt op de dagen met een erg lage temperatuur kan dit de herhalingsstijd voor de extreem lage T_{eff} behoorlijk beïnvloeden.

De gevonden relatie uit figuur 2.15 is vervolgens gebruikt om uit de geo-wind de gemiddelde wind op 10 m te schatten. Om te checken of er net op dagen met een erg lage temperatuur een aanzienlijke over- of onderschatting optreedt van de geschatte wind op 10 m, is de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de gemeten W_{gem} vergeleken met de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de geo-wind voor de periode 1961-1990 (Figuur 2.16). De relatie tussen beide blijkt goed te zijn. Er is dus op grond van figuur 2.16 geen aanwijzing dat de geschatte W_{gem} m.b.v. de geo-wind bij lage temperaturen systematisch wordt overschat of onderschat.



Figuur 2.15. Relatie tussen Geo-wind en gemeten wind (10 m) voor station De Bilt voor de periode 1961-1990 (W_{gem} afgerond op hele en halve m/s).

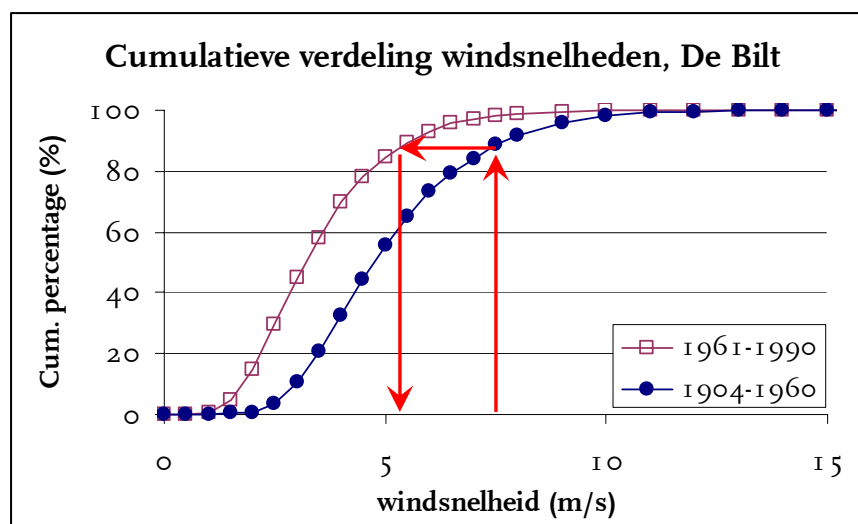


Figuur 2.16. Relatie tussen jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de gemeten W_{gem} en de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de geowind voor de periode 1961-1990, voor station De Bilt.

Een andere mogelijkheid is de cumulatieve verdeling van windsnelheden voor en na 1961 te bekijken en een correctiefactor voor verschillende percentielen toe te passen. Hiervoor is de cumulatieve verdeling van windsnelheden voor de perioden 1904-1960 en 1961-1990 berekend (zie figuur 2.17). Voor de volgende groepen is de gemiddelde windsnelheid in beide perioden bepaald: laagste 10%, tussen 10 en 25%, tussen 25 en 75%, tussen 75 en 90%, en de hoogste 10%. De waarden zijn in tabel 2.1 weergegeven. De gevonden verschillen zijn gebruikt om de windsnelheden voor de periode 1904-1960 te corrigeren: elke windsnelheid in de periode 1904-1960 is verminderd met het verschil per klasse zoals aangegeven in Tabel 2.1 (zie ook figuur 2.17). Deze gecorrigeerde windsnelheden zijn verder aangeduid met W_{cum} . Er is verondersteld dat de correcties voor de verschillende seizoenen gelijk kunnen zijn. De verdeling van de windsnelheden tussen de seizoenen is echter wel anders (zie figuur 2.13). Voor de periode na 1990 is dezelfde methode gebruikt, maar hier waren de verschillen t.o.v. 1961-1990 klein (tabel 2.1)

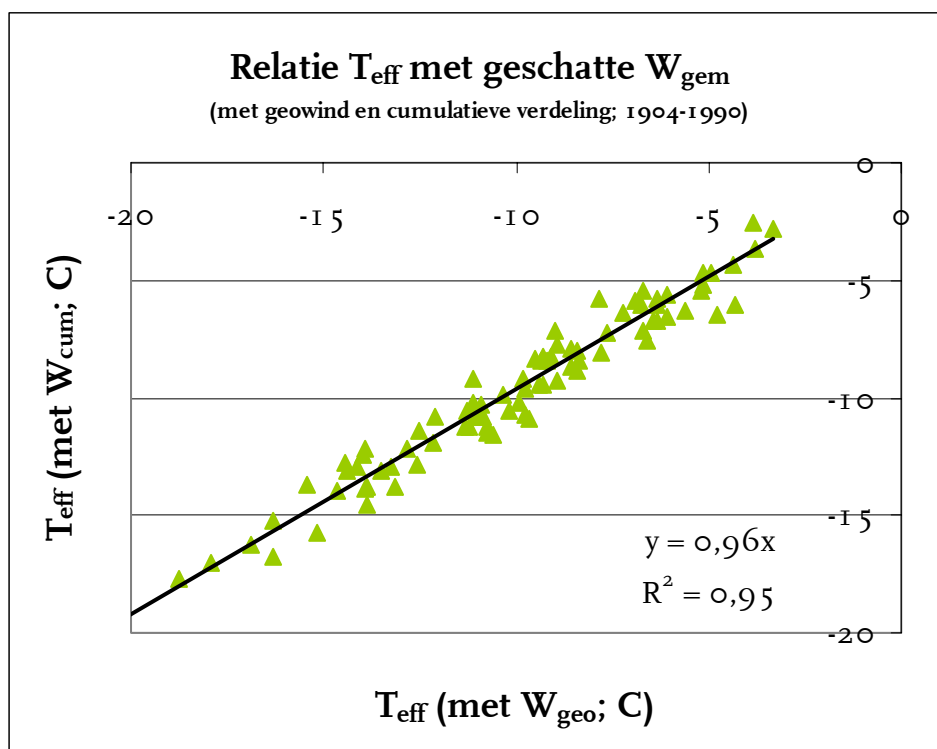
Tabel 2.1. Gemiddelde gemeten windsnelheid zoals opgenomen in de database van de Klimatologische Dienst (KNMI) voor De Bilt voor verschillende perioden.

	Referentie		1991-2004	Vershil tussen	Vershil tussen
	1961-1990	1904-1960		1904-1960 en 1961-1990	1991-2004 en 1961-1990
Laagste 10%	1,32	0,98	1,48	-0,34	0,16
10-25%	2,10	3,37	2,16	1,27	0,06
25-75%	3,24	4,97	3,31	1,73	0,07
75-90%	5,03	7,12	5,08	2,10	0,06
Hoogste 10%	7,00	9,34	7,09	2,34	0,09



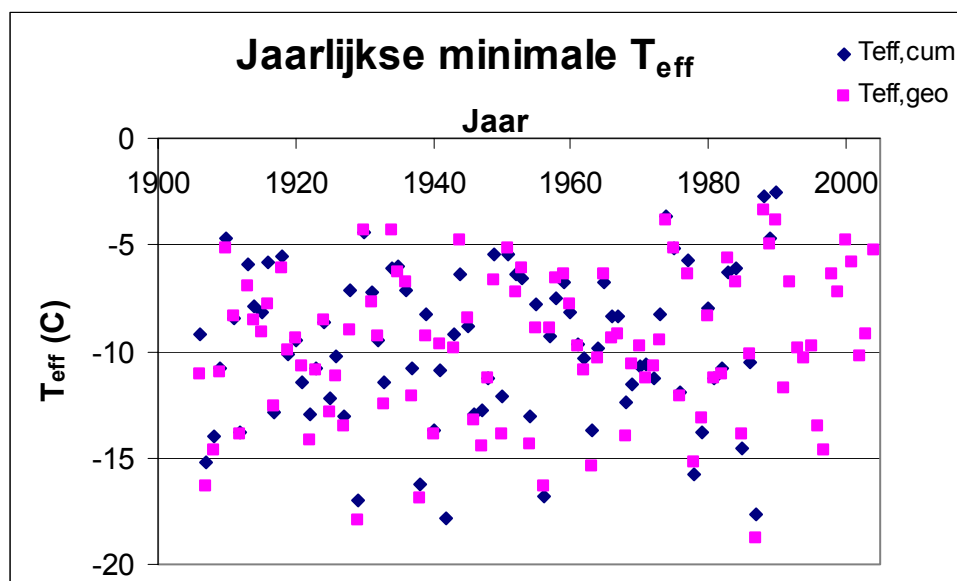
Figuur 2.17. Cumulatieve verdeling van de windsnelheden gemeten in De Bilt voor de periode 1906-1960 en 1961-1990. De rode pijlen geven de correcties aan die uitgevoerd zijn op de windsnelheden voor de periode 1906-1960 (zie ook Tabel 2.1).

Om te checken of de schattingen van de minimale T_{eff} gebaseerd op deze correctie voor de periode 1904-1960 acceptabel zijn, is de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de geo-wind uitgezet tegen de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de cumulatieve verdelingen. Hierbij is aangenomen, op grond van figuur 2.16, dat de T_{eff} berekend met de W_{geo} goed is geschat. De relatie in figuur 2.18 is ook vrij goed, m.a.w. er is dus op grond van figuur 2.18 geen aanwijzing dat de geschatte W_{gem} m.b.v. de cumulatieve verdeling bij lage temperaturen systematisch wordt overschat of onderschat. De T_{eff} gebaseerd op de cumulatieve verdelingen is dus ook bruikbaar voor het bepalen van herhalingstijden van extreem lage T_{eff} .



Figuur 2.18. Jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de geo-wind uitgezet tegen de jaarlijkse minimale T_{eff} gebaseerd op de cumulatieve verdelingen voor station De Bilt voor de periode 1904-1990.

Er zijn echter vrij weinig punten met een erg lage T_{eff} . Als met 1 van beide methoden toch een kleine systematische over- of onderschatting wordt gemaakt, dan kan dit de inschatting van de herhalingstijden voor deze extreem lage T_{eff} 's aanzienlijk beïnvloeden. In figuur 2.19 staan de berekende jaarlijkse minimale T_{eff} uitgezet. Het lijkt erop dat de T_{eff} met de W_{cum} iets minder lage extremen oplevert, hoewel de verschillen niet significant zijn ($< 1 \cdot \text{std}$ van gemiddelden). Het is niet mogelijk om aan te geven welke methode beter is, aangezien niet voor beide methoden op een directe manier de geschatte en werkelijke T_{eff} waren te vergelijken (wel mogelijk voor $T_{\text{eff,geo}}$ voor 1961-1990, maar niet voor $T_{\text{eff,cum}}$).



Figuur 2.19. Jaarlijkse minimale T_{eff} berekend met verschillende methoden, voor De Bilt voor de periode 1906-2005.

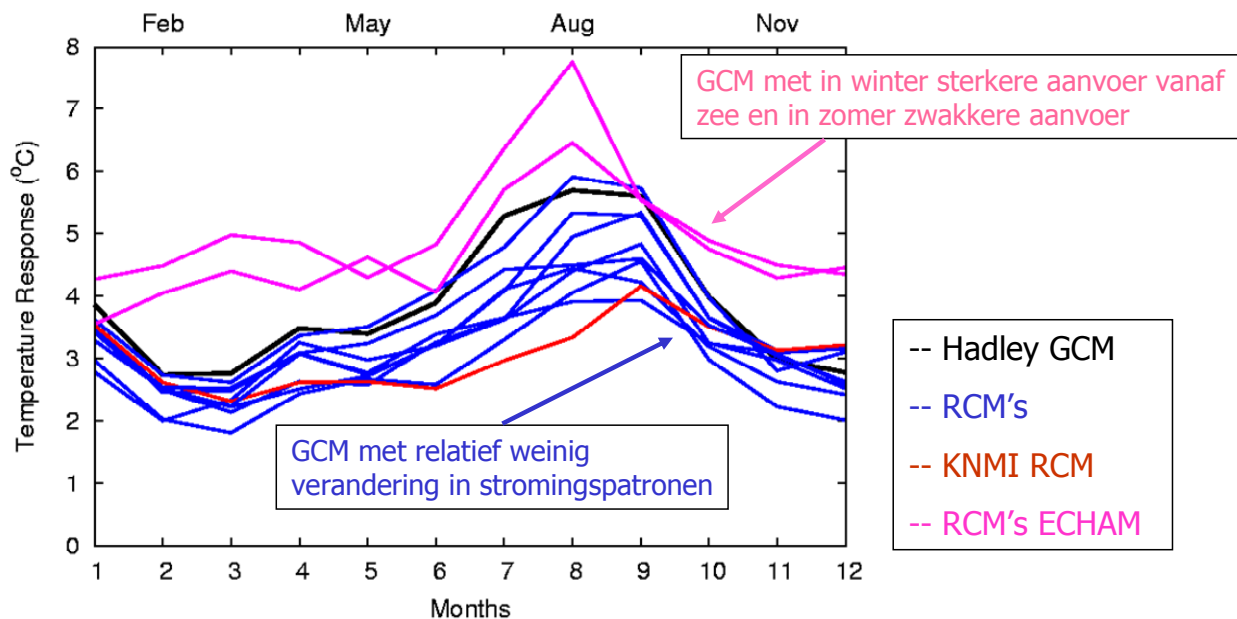
2.3. Modelgegevens

Om uitspraken te kunnen doen over de toekomst zijn resultaten van het regionale model RACMO gebruikt. (Voor meer toelichting op het verschil tussen globale en regionale klimaatmodellen verwijzen we naar de eerste nieuwsbrief over de nieuwe KNMI-klimaatscenario's. Deze zal in de zomermaanden van 2005 toegestuurd worden.)

Er bestaan verschillende regionale en globale klimaatmodellen, die allemaal wat andere resultaten voor de toekomst simuleren. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de manier van modelleren van processen (meer of minder gedetailleerd beschrijven van processen, iets andere aannames, etc.). De verschillende modellen leveren dus een pluim aan mogelijkheden voor de toekomst (zie figuur 2.20). De gesimuleerde trend per seizoen of voor de toekomst als geheel hoeft niet hetzelfde te zijn voor alle modellen. Op grond van analyse van de resultaten van slechts één model kan men dus niet zomaar uitspraken doen over klimaatverandering. Men moet in ieder geval iets weten over de trends die andere modellen laten zien. Binnen de tijd die we nu hebben is het niet mogelijk om de resultaten van meerdere modellen te analyseren, maar voor de toekomst behoort dit wel tot de mogelijkheden.

RACMO is gekozen o.a. omdat het voor Nederland en omgeving is ontwikkeld. Figuur 2.20 laat zien dat RACMO (=KNMI RCM) in de zomermaanden redelijk conservatief is in de temperatuurstijging t.o.v. andere RCM's. Dit komt doordat RACMO minder dan in een aantal andere modellen, een sterke uitdroging in de zomer simuleert (door uitdroging van

de bodem warmt de atmosfeer daarboven meer op). Het zelfde beeld komt naar voren uit een studie van Kjellström et al. (ingediend bij Special issue of Climatic Change of the PRUDENCE project). Ook daar was de stijging voor de komende eeuw gesimuleerd met RACMO van T_{\max} voor de regio met Nederland en voor de maanden juni t/m augustus relatief klein t.o.v. andere RCM's.



Figuur 2.20. Effect van veranderingen in circulatiepatronen op de temperatuur in centraal Nederland voor een A2 emissie-scenario. Elke lijn is verkregen met een verschillend RCM, waarbij de kleuren aangeven met welk GCM de regionale modellen zijn gevoed. De rode lijn is het KNMI model RACMO, die met hetzelfde GCM is gevoed als de overige blauwe lijnen (bron: Prudence project).

In het kader van het PRUDENCE-project zijn verschillende runs met RACMO uitgevoerd. Voor dit rapport zijn 2 runs gebruikt voor een A2 emissie-scenario voor de perioden 1961-1990 (controle run) en voor 2071-2100 (toekomstig klimaat). De resultaten voor punt 51.96N, 4.90E zijn gebruikt, dit is het punt het dichtst bij De Bilt. Aangezien niet te verwachten is dat de relatieve veranderingen in maximale temperaturen, de herhalingstijden daarvan, etc. voor Eelde anders zullen veranderen dan voor De Bilt, is besloten bovenstaande gegevens te gebruiken voor zowel de De Bilt als voor Eelde.

Een model bevat altijd enige bias. Er wordt verondersteld dat de bias voor het huidige/historische klimaat het zelfde is als voor het toekomstige klimaat. Om de bias uit de model resultaten te halen, wordt een controle run gebruikt voor het huidige klimaat en een run voor het toekomstige klimaat. Het verschil tussen de controle run en de historische gemeten data wordt gebruikt als een indicatie hoe goed het model werkt. Is het verschil klein dan is de bias van het model t.o.v. de werkelijkheid klein. Het verschil tussen de controle run en de run voor de toekomst wordt vervolgens bij de

waarnemingen opgeteld om een indicatie te verkrijgen hoe het huidige klimaat (gedefinieerd met historische data) zal gaan veranderen.

In de RACMO-resultaten voor de periode 2071-2100 stijgt de CO₂-concentratie en ook de gemiddelde temperatuur. M.a.w. er is een trend aanwezig in de gegevens van deze run. Deze hoeft niet alleen veroorzaakt te worden door de CO₂ stijging, maar kan ook gedeeltelijk het gevolg zijn van natuurlijke variatie. Bij de analyse van de resultaten is deze trend er uit gefilterd en zijn de resultaten genormaliseerd voor het jaar 2100 of voor 2070. Dit is gedaan om een schatting van het klimaat in 2030 te kunnen maken (interpolatie tussen jaren nodig). Het klimaat wordt meestal beschreven m.b.v. de gemiddelden, variatie, etc. in een tijdserie van 30 jaar. Echter het klimaat in 2070 zal anders zijn dan in 2100, vanwege de doorgaande temperatuurstijging. Om een vergelijking tussen het klimaat in bijv. 2070 en 1990 te kunnen maken, moeten de gegevens voor de toekomst dus worden genormaliseerd. M.b.v. lineaire regressie is gekeken of er een trend in de gegevens aanwezig was. Voor de periode 2071-2100 was dit altijd het geval. Vervolgens zijn de gegevens m.b.v. de regressie-coëfficiënt genormaliseerd voor 2100 op de volgende manier:

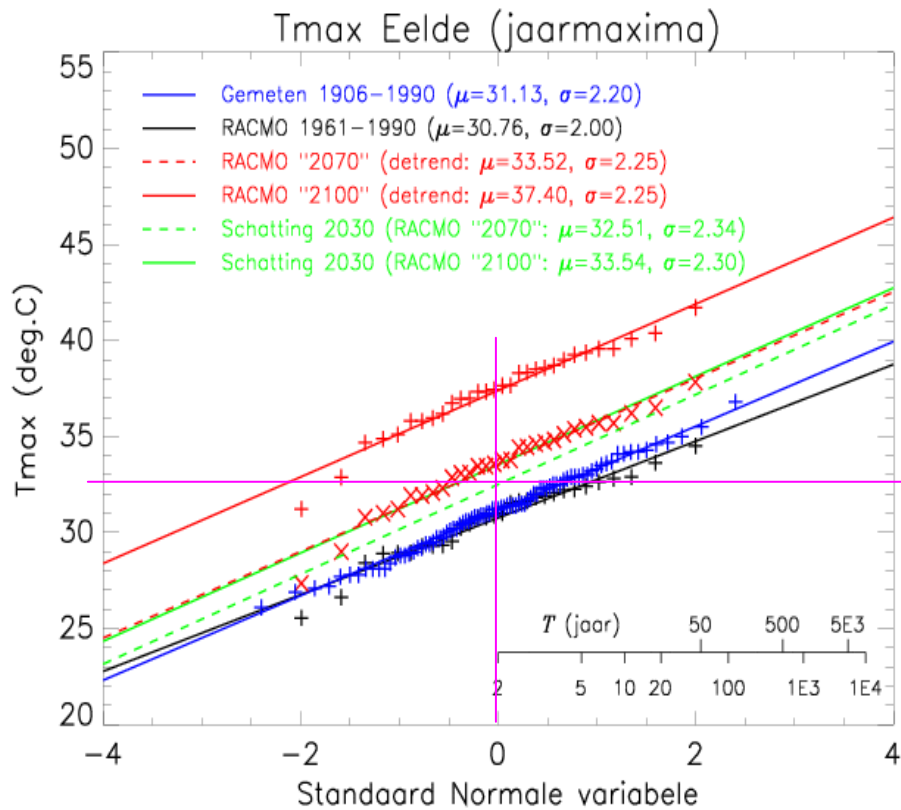
$$\text{Genormaliseerde waarde } 2071 = \text{RACMO-waarde } 2071 + (2100 - 2071) * \text{regressie-coëfficiënt}$$

Normalisatie voor het jaar 2070 wordt op een vergelijkbare manier uitgevoerd (“+(2100-2071)” vervangen door “-(2070-2071)”).

3. Analyse van historische data en model resultaten voor de toekomst

3.1. Eelde: Herhalingstijden voor T_{max}

Figuur 3.1 laat de herhalingstijden zien voor extreme hoge T_{max} voor de periode 1906-1990 (observaties) en de herhalingstijden op basis van resultaten van RACMO voor een controle run (1961-1990) en voor een toekomstig klimaat (2071-2100; A2 scenario). De herhalingstijden op basis van de controle run met RACMO voor de periode 1961-1990 komen goed overeen met de herhalingstijden op basis van de observaties voor de periode 1906-1990. De punten liggen grotendeels over elkaar heen, hoewel op grond van de observaties de herhalingstijden voor hoge T_{max} iets korter lijken (maar niet significant). Een T_{max} van 25 °C of hoger komt gemiddeld 14,7 dagen per jaar voor (1906-1990; zie sectie 3.2). M.b.v. figuur 3.1 is af te lezen wat de herhalingstijd is voor een T_{max} hoger dan 25 °C. Bijv. in de periode 1906-1990 kwam 1 maal per 2 jaar een T_{max} van 31,0 °C voor (op basis van de observaties).



Figuur 3.1. Herhalingstijden van verschillende maximale jaarlijkse T_{\max} op basis van de observaties voor de periode 1906-1990, de resultaten van RACMO voor een controle run (1961-1990) en voor een toekomstig klimaat (2070-2100; A2 scenario) voor punt 51.96N en 4.90E, en de geschatte herhalingstijden voor 2030.

De kans op een T_{\max} hoger dan of gelijk aan een bepaalde waarde is te beschrijven met de volgende formule:

$$\Pr(T_{\max} \geq x) = \Pr\left(\frac{T_{\max} - \mu}{\sigma} \geq \frac{x - \mu}{\sigma}\right) = Q(T^*) = 1 - P(T^*)$$

waarbij $x = T_{\max}$ en $(x-\mu)/\sigma = T^*$. De waarden van de parameters zijn te vinden in figuur 3.1.

De formule kan analytisch opgelost worden met een benaderingsformule uit bijv. Abramowitz & Stegun (1970), maar verscheidene software pakketten

bevatten ook modules hiervoor. M.b.v. de volgende formule is dan de herhalingstijd af te leiden voor een bepaalde T_{\max} :

$$T = \frac{1}{(1 - \Pr(X \geq x))}$$

Het verschil tussen de beide RACMO-runs (periode 1961-1990 en periode 2071-2100) is aanzienlijk (> 1 * std. van gemiddelden = 0,55 °C). Hieruit kan geconcludeerd worden dat, volgens RACMO, de herhalingstijden voor maximale T_{\max} zullen afnemen.

Aangezien de tijdshorizon van de Gasunie/NAM tot 2030 loopt is een schatting gemaakt van de gemiddelde waarden voor 2030 op basis van de RACMO-runs. Hierbij is uitgegaan van een lineaire toename. Echter de temperatuurstijging tussen 1990 en 2070 (+0,034 °C per jaar = (verschil gem. T_{\max} 1961-1990 en gem. T_{\max} 2071-2100 genormaliseerd voor 2070)/(2070-1990)) is relatief kleiner dan tussen 2071 en 2100 (+0,129 °C per jaar = (verschil in gem. T_{\max} genormaliseerd voor 2100 en 2070)/(2100-2070)). Dit verschil in trends tussen de perioden kan veroorzaakt worden door natuurlijke variatie, maar in het IPCC-rapport uit 2001 (IPCC, 2001) is ook een langzamere stijging van de temperatuur (op basis van GCM's) in het begin van deze eeuw te zien. De relatief grote trend in de periode 2071-2100 wordt ook veroorzaakt door het feit dat aan het begin van de periode (2070) de bodem vrij vochtig is. In de loop van de simulatie tot 2100 treed er uitdroging op, waardoor de trend in temperatuurstijging relatief sterk is t.o.v. andere RCM's. Echter, de gesimuleerde temperatuurstijging met RACMO voor de periode 1990-2100 is nog steeds redelijk conservatief t.o.v. andere RCM's (pers. comm. Geert Lenderink; Kjellström et al., 2005).

Het verschil tussen de controle run en de run voor de toekomst met RACMO is vermenigvuldigd met $(2030-1990)/(2100-1990)$ bij normalisatie voor het jaar 2100 en met $(2030-1990)/(2070-1990)$ bij normalisatie voor het jaar 2070. Deze waarde is opgeteld bij de waarde gebaseerd op de historische gegevens. Als de toename in T_{\max} tussen 1990 en 2100 niet lineair is, leidt de bovenstaande methode tot een overschatting van de herhalingstijden voor T_{\max} voor 2030. De schatting m.b.v. de RACMO-resultaten genormaliseerd voor 2070 levert dan een betere schatting op van de herhalingstijden voor 2030. Echter zoals eerder aangegeven, geeft RACMO een vrij lage stijging van de T_{\max} in de maanden juni t/m augustus t.o.v. andere regionale klimaatmodellen tot 2070. Verder vertoont RACMO weinig verandering van circulatiepatronen t.o.v. het huidige klimaat. Een verandering van circulatiepatronen (met in de zomer relatief meer oostenwind) kan leiden tot een sterkere stijging van de temperatuur in de zomer (deze optie wordt nu waarschijnlijk ook meegenomen in 2 van de 4 nieuwe KNMI klimaatscenario's die begin 2006 gepresenteerd zullen worden).

Als uitgegaan wordt van normalisatie voor 2070, hoort bij een herhalingstijd van 1 maal per 2 jaar in 2030 een T_{\max} van 32,7 °C. Als uitgegaan wordt van normalisatie voor 2100, hoort bij een herhalingstijd van 1 maal per 2 jaar in 2030 een T_{\max} van 33,5 °C. In de periode 1906-1990 hoort bij deze temperaturen een herhalingstijd van respectievelijk 1 maal per ong. 5 jaar en 1 maal per >10 jaar horen. De standaardafwijking van de gemiddelden voor 1990 en 2030 is geschat op ong. 0,5 °C. De lijn voor 2030 ligt 2-7 maal (afhankelijk van het normalisatiejaar en de T_{\max}) deze std. hoger dan de lijn voor 1906-1990.

Ook andere globale en regionale klimaatmodellen geven aan dat de gemiddelde temperatuur en ook de maximale dagtemperatuur in de toekomst gaat stijgen in Nederland. De mate van stijging varieert wel per model. Op grond van bovenstaande analyse is te concluderen dat de herhalingstijden voor extreme T_{\max} in de toekomst zullen afnemen. Zoals eerder aangegeven, hebben we hier maar de resultaten van 1 model bestudeerd, dus kwantitatieve uitspraken over hoeveel de herhalingstijden zullen afnemen zijn niet mogelijk.

3.2. Eelde: aantal dagen en uren per jaar met T_{\max} hoger dan 25 °C

De procedure zoals toegepast in par. 3.1 kan niet gebruikt worden voor afgeleide variabelen zoals het aantal dagen per jaar met een T_{\max} boven 25 °C, de jaarlijkse temperatuursom boven 25 °C of de gemiddelde T_{\max} voor dagen met een T_{\max} boven de 25 °C. In al deze gevallen is slechts 1 waarde per jaar beschikbaar en niet 365 waarden zoals bij de dagelijkse T_{\max} (zie ook annex 2: weergenerator, gebruik van ECWMF 6-maanden forecasts/hindcasts). In de onderstaande analyses is dus geen figuur met herhalingstijden gemaakt, maar is alleen gekeken naar de gemiddelden, de range en de frequenties van jaren met veel warme dagen.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gemiddelde waarden, gemiddelde jaren en herhalingstijden voor het aantal dagen per jaar met een T_{\max} boven 25 °C, de jaarlijkse temperatuursom boven 25 °C en de gemiddelde T_{\max} voor dagen met een T_{\max} boven de 25 °C voor verschillende perioden in het verleden. De gemiddelden voor de periode 1991-2004 wijken in alle gevallen meer dan 2 maal de std. van de gemiddelden af het gemiddelde voor de periode 1906-1990 (par. 2.1).

De stijging in de periode 1991-2004 is hoger dan op grond van bijv. de RACMO-run zou worden verwacht. Waarschijnlijk komt dit door natuurlijke variatie in de circulatiepatronen, waardoor gedurende een aantal jaren de temperaturen hoger (maar ook lager) kunnen zijn dan de verwachte temperaturen op grond van projecties van 50-100 jaar vooruit. Het extrapoleren van temperaturen van korte perioden, bijv. 10-15 jaar, kan daardoor leiden tot grote overschattingen of onderschattingen van klimaatverandering.

Tabel 3.1. Overzicht van herhalingstijden en gemiddelde jaren op basis van observaties voor verschillende variabelen voor Eelde.

<i>Variabele</i>	<i>Periode</i>	<i>Gem.</i>	<i>Gemiddelde jaren</i>	<i>Herhalingstijden*</i>
<i>Aantal dagen met T_{max} hoger dan $25\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>	1906-1990	14,7	14 dagen: 1906, 1934, 1942, 1953, 1964, 1971, 1978 15 dagen: 1943, 1986	1x per 6 j.: >19 1x per 12 j.: >25 1x per 17 j.: >30
	1991-2004	23,2	23 dagen: 1991, 1994 24 dagen: 2004	
<i>Gem. T_{max} op dagen met een T_{max} hoger dan $25\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>	1906-1990	27,5	1918, 1932, 1934, 1935, 1953	1x per 5 j.: >28,1 1x per 9 j.: >28,5 1x per 21 j.: >28,8
	1991-2004	27,9	1996, 1999, 2004	
<i>Aantal graden boven $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{max}-25; ^{\circ}\text{Cd}$)</i>	1906-1990	39,5	1949 (38,3 $^{\circ}\text{Cd}$), 1981 (39,1 $^{\circ}\text{Cd}$), 1906 (37,9 $^{\circ}\text{Cd}$), 1936 (41,1 $^{\circ}\text{Cd}$), 1950 (37,8 $^{\circ}\text{Cd}$), 1964 (37,6 $^{\circ}\text{Cd}$), 1978 (41,5 $^{\circ}\text{Cd}$)	1x per 5 j.: >55 1x per 11 j.: >67 1x per 21 j.: >95
	1991-2004	69,8	2002 (68,7 $^{\circ}\text{Cd}$), 2004 (68,7 $^{\circ}\text{Cd}$)	

* Verdeling niet continu; die getallen genomen waarvoor de herhalingstijden het dichtst bij 1 maal per 5, 10 of 20 jaar lagen.

Tabel 3.2 geeft de resultaten van RACMO voor de maximale dagtemperatuur en de gemiddelden, standaard afwijkingen, etc. op basis van de historische gegevens. De bias tussen de observaties en de controle run is het grootst voor het aantal dagen met een $T_{max} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. De andere getallen komen redelijk overeen. De variatie in de RACMO-resultaten is iets kleiner dan in de observaties.

Tabel 3.2. RACMO-simulatie resultaten voor de maximum dagtemperatuur, controlerun voor 1961-1990 en toekomst run voor 2071-2100, observaties voor station Eelde en schattingen voor het jaar 2030.

		<i>Observaties (Eelde)</i>	<i>RAC- MO **</i>	<i>RAC- MO **</i>	<i>RAC- MO **</i>	<i>Schatting* 2030</i>	
		<i>Periode</i>	<i>Periode</i>	<i>“2070”</i>	<i>“2100”</i>	<i>“2070”</i>	<i>“2100”</i>
		1961- 1990	1961- 1990				
Aantal dagen met $T_{max} > 25^{\circ}C$	<i>Gem.</i>	15,0	17,9	42,3	67,6	27,2	33,1
	<i>Std.</i>	8,2	7,5	13,7	13,7	11,3	10,5
	<i>Min.</i>	3	3	10,9	36	7,0	15
	<i>Max.</i>	36	36	80,1	105	58,1	61
Gemiddelde T_{max} op dagen met $T_{max} > 25^{\circ}C$	<i>Gem.</i>	27,4	27,0	27,9	29,1	27,9	28,2
	<i>Std.</i>	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8
	<i>Min.</i>	25,8	25,4	26,6	27,8	26,4	26,7
	<i>Max.</i>	29,0	28,1	29,8	31,0	29,9	30,0
Temperatuursom van dagen met $T_{max} > 25^{\circ}C$	<i>Gem.</i>	39,2	40,7	124,7	276,8	81,2	125,1
	<i>Std.</i>	29,2	25,2	73,2	74,3	53,2	47,1
	<i>Min.</i>	2,5	0	0	135	2,5	51
	<i>Max.</i>	113,0	109	317	469	217	244
Aantal dagen met $T_{gem} > 25^{\circ}C$	<i>Gem.</i>	0,1	1,0	6,2	19,4	2,7	6,8
	<i>Std.</i>	-	1,6	5,5	6,3	-	-
	<i>Min.</i>	0	0	0	8	0	3
	<i>Max.</i>	2	7	19,6	33	8,3	11

* Schatting gebaseerd op een lineair verband. Indien trend in T_{max} niet lineair is tussen 1990 en 2100 geeft dit een overschatting. Voor minima en maxima slechts een indicatie, want extremen zijn inherent zeldzaam en dus moeilijk te schatten.

** De trend is uit de RACMO resultaten gefilterd. Alle waarden zijn genormaliseerd voor 1990 of 2100.

Volgens RACMO zal aan dat aan het eind van de eeuw (2071-2100) het aantal dagen met een T_{max} boven de $25^{\circ}C$ duidelijk zijn toegenomen. De temperatuursom boven de $25^{\circ}C$ (voor T_{max}) stijgt flink. Dit wordt voor een deel bepaald door een stijging van de gemiddelde temperatuur op een dag met een T_{max} boven de $25^{\circ}C$, maar vooral door een stijging van het aantal dagen met een T_{max} boven de $25^{\circ}C$. Aangezien de tijdshorizon van de Gasunie/NAM tot 2030 loopt is een schatting gemaakt van de gemiddelde waarden voor 2030. Hierbij is uitgegaan van een lineaire toename. Het verschil tussen de controle run en de run voor de toekomst met RACMO is vermenigvuldigd met $(2030-1990)/(2100-1990)$ (normalisatie voor 2100) of vermenigvuldigd met $(2030-1990)/(2070-1990)$ (normalisatie voor 2070). Deze waarde is opgeteld bij de waarde gebaseerd op de historische gegevens. Omdat de trend tussen 1990 en 2070/2100 mogelijk niet lineair is, kan deze methode een overschatting geven van de stijging tot 2030.

Het geschatte aantal dagen met een T_{\max} boven de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ voor 2030 wijkt voor beide schattingen in tabel 3.2 meer dan $1 \cdot$ de std. van de gemiddelden (2,6-2,4 dagen) af van de waarde voor de periode 1961-1990 (observaties). Het zelfde geldt voor de temperatuursom boven $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\max}-25$; std van de gemiddelden $11,1-10,1\text{ }^{\circ}\text{Cd}$), en de gemiddelde T_{\max} op dagen met een T_{\max} boven de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (std van de gemiddelden $0,22-0,21\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Zoals eerder aangegeven zijn de bovenstaande resultaten slechts gebaseerd op 1 model. Daarom kunnen er geen kwantitatieve uitspraken gedaan worden. Wel kan geconcludeerd worden dat volgens RACMO het aantal uren met een T_{\max} boven de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ zeer aanzienlijk zal stijgen. Dit is in overeenstemming met resultaten van andere modellen, die een stijging van de gemiddelde dagtemperatuur laten zien. Echter, T_{\max} kan met een andere snelheid stijgen dan de gemiddelde temperatuur.

3.3. De Bilt: Herhalingstijden voor T_{eff}

Tabel 3.3 laat een overzicht zien van de T_{eff} berekend met de twee verschillende methoden, zoals beschreven in hoofdstuk 2. T_{eff} berekend met de W_{cum} (gebaseerd op de cumulatieve verdelingen) geeft iets minder lage extremen, hoewel de verschillen niet significant zijn ($<1 \cdot$ std van de gemiddelden ($0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$)).

Tabel 3.3. Gemiddelde, standaard afwijking en minima en maxima voor de jaarlijkse minimale T_{eff} , berekend met 2 methoden (hoofdstuk 2) voor verschillende perioden in De Bilt.

		$T_{\text{eff}} \text{ met}$ $W_{\text{gem,geo}}$	jaar	$T_{\text{eff}} \text{ met}$ $W_{\text{gem,cum}}$	Jaar
1906-1960	Gem.	-10,2		-9,9	
	Std.	3,7		3,4	
	Min.	-20,2	1942	-17,8	1942
	Max.	-4,3	1934	-4,4	1930
1961-1990	Gem.	-9,7		-9,4	
	Std.	3,7		3,7	
	Min.	-18,7	1987	-17,7	1987
	Max.	-3,3	1988	-2,5	1990
1991-2004	Gem.	-9,0		-9,0	
	Std.	2,9		3,0	
	Min.	-14,6	1997	-14,0	1997
	Max.	-4,8	2000	-5,1	2004

Een $T_{\text{eff,geo}}$ van $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ of lager is vanaf 1920 t/m 2004 3 maal voorgekomen (11 feb. 1929; 27 jan. 1942; 14 jan. 1987), een $T_{\text{eff,cum}}$ van $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ of lager is vanaf 1920 t/m 2004 4 maal voorgekomen (11 feb. 1929; 26 en 27 jan. 1942; 14 jan. 1987). Deze gegevens zijn vergelijkbaar met de gegevens uit de eigen analyses van de Gasunie/NAM.

Tabel 3.4 geeft de gemiddelde dagtemperatuur en windsnelheid en de gemiddelden, standaard afwijkingen, etc. op basis van de historische gegevens en de RACMO resultaten. De gegevens in deze tabel zijn al gecorrigeerd voor de bias in de modelresultaten voor T_{gem} en W_{gem} . De gemiddelde dagtemperatuur in de controlerun was gemiddeld $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hoger dan in de observaties. Voor de wind was het verschil gemiddeld $2,2\text{ m/s}$ (hoger dan in observaties). Bij de bias-correctie is gebruik gemaakt van de cumulatieve verdelingen voor zowel de temperatuur als voor de wind van de controlerun en van de observaties. Voor de wind is weer een onderverdeling gemaakt naar de laagste 10 %, 10-25 %, 25-75 %, 75-90 %, en de 10 % hoogste windsnelheden. De correctiewaarden waren respectievelijk $-1,29$, $-1,42$, $-2,08$, $-2,79$ en $-3,32\text{ m/s}$. Voor temperatuur is alleen onderscheid gemaakt naar de laagste 5 % van de temperaturen en de rest. De correctie waarden hier voor waren respectievelijk $-2,39$ en $-0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze bias-correcties zijn toegepast op zowel de controlerun als op de RACMO-resultaten voor de toekomst. Vervolgens zijn voor de RACMO-runs de T_{eff} 's berekend.

Tabel 3.4. RACMO simulatie resultaten voor de jaarlijkse gemiddelde dagtemperatuur en windsnelheid en de afgeleide effectieve temperatuur, controlerun voor 1961-1990 en toekomst run voor 2071-2100, observaties voor station De Bilt en schattingen voor het jaar 2030.

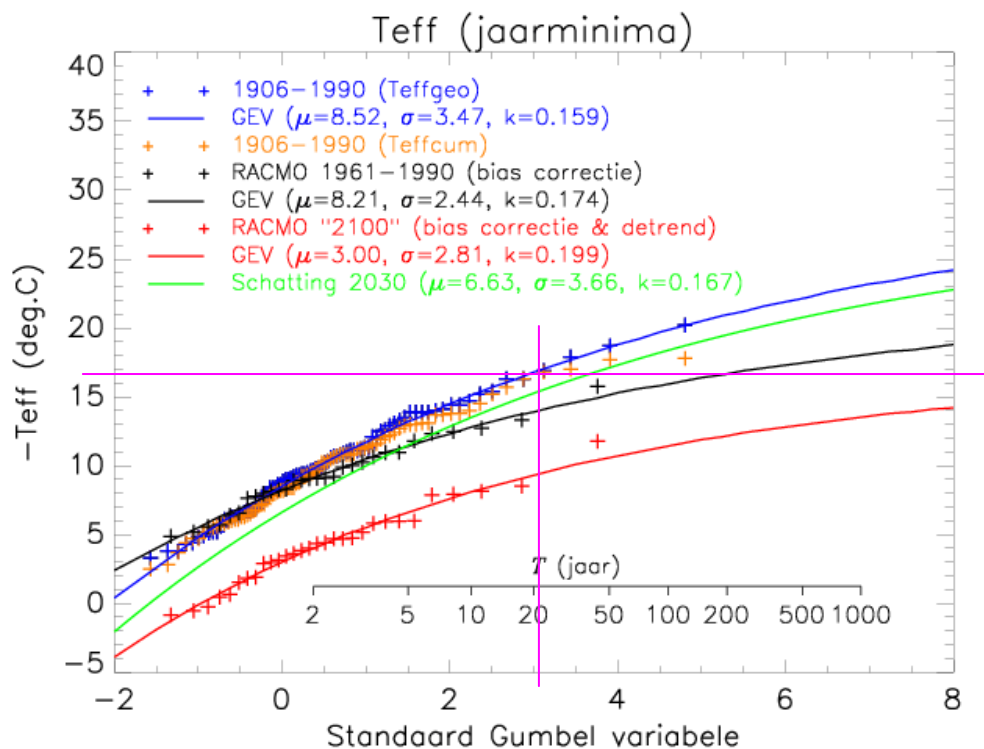
		<i>Observaties</i>	<i>RACMO +bias-corr cum**</i>	<i>RACMO +bias-corr cum**</i>	<i>Schatting*</i>
		<i>Periode</i>	<i>Periode</i>	<i>Periode</i>	<i>2030</i>
		<i>1961-1990</i>	<i>1961-1990</i>	<i>2071-2100</i>	
Gemiddelde jaarlijkse Temperatuur	<i>Gem.</i>	9,4	9,3	13,2	10,8
	<i>Std.</i>	0,7	0,6	0,5	0,7
	<i>Min.</i>	7,9	7,6	12,3	9,6
	<i>Max.</i>	10,9	10,9	14,0	12,0
Gemiddelde jaarlijkse wind- snelheid (10 m)	<i>Gem.</i>	3,3	3,3	3,4	3,3
	<i>Std.</i>	0,2	0,2	0,2	0,2
	<i>Min.</i>	2,8	2,9	2,9	2,8
	<i>Max.</i>	3,9	3,7	3,8	3,9
Jaarlijkse minimale effectieve temperatuur	<i>Gem.</i>	-9,4	-9,3	-4,2	-7,5
	<i>Std.</i>	3,7	2,5	2,9	3,8
	<i>Min.</i>	-17,7	-15,8	-11,8	-16,2
	<i>Max.</i>	-2,5	-4,9	0,8	-0,4

* Schatting gebaseerd op een lineair verband. Voor minima en maxima slechts een indicatie, want extremen zijn inherent zeldzaam en dus moeilijk goed te schatten.

** De trend is uit de RACMO resultaten gefilterd (voor T_{eff} na berekenen van T_{eff}). Alle waarden zijn genormaliseerd voor 1990 of 2100.

De tabel laat zien dat, volgens RACMO, de gemiddelde jaarlijkse T_{gem} in de toekomst toeneemt (met $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot 2100). De gemiddelde jaarlijkse windsnelheid blijft ongeveer gelijk. De jaarlijkse minimale T_{eff} lijkt ook toe

te nemen volgens RACMO. De geschatte verandering in minimale jaarlijkse T_{eff} tot 2030 is bijna 2 maal de standaardafwijking van het gemiddelde (0,9 °C). Als voor de toekomst de RACMO-resultaten waren genormaliseerd voor 2070, zou het verschil tussen de observaties en de schatting voor 2030 iets kleiner zijn geweest (trend tussen 2071-2100 groter dan tussen 1990-2070).



Figuur 3.2. Herhalingstijden voor extreem lage effectieve temperaturen in De Bilt, berekend met een W_{gem} gebaseerd op de geo-wind voor de periode 1904-1990 ($T_{\text{eff,geo}}$), berekend met een W_{gem} , gecorrigeerd op basis van de cumulatieve verdeling van windsnelheden voor en na 1961 ($T_{\text{eff,cum}}$), en de resultaten van RACMO voor een controle run (1961-1990) en voor een toekomstig klimaat (2070-2100; A2 scenario) voor punt 51.96N en 4.90E en een schatting voor de herhalingstijden voor 2030.

Figuur 3.2 laat de herhalingstijden voor de extreem lage T_{eff} zien en de gefitte lijn (GEV = generalized extreme value), voor de periode 1904-1990 en voor de resultaten van de RACMO runs. De punten voor $T_{\text{eff,geo}}$ en $T_{\text{eff,cum}}$ vallen grotendeels over elkaar, maar voor de extreem lage T_{eff} zijn de herhalingstijden voor $T_{\text{eff,cum}}$ iets langer. De kans op een T_{eff} lager dan of gelijk aan een bepaalde waarde is te berekenen met de volgende formule:

$$\Pr(X \geq x) = e^{-(1-k(x-\mu)/\sigma)^{1/k}}$$

Waarbij $x = -T_{\text{eff}}$. De waarden van de parameters zijn te vinden in figuur 3.2. M.b.v. de volgende formule is dan de herhalingstijd af te leiden voor een bepaalde T_{eff} :

$$T = \frac{1}{(1 - \Pr(X \geq x))}$$

Op basis van de observaties en de bovenstaande formules kan bijv. berekend worden dat een $T_{\text{eff,geo}}$ van -17 °C of lager 1 maal per 22,6 jaar kan worden verwacht. Een T_{eff} van -10 °C of lager heeft een herhalingstijd van 1 maal per 2,1 jaar. De herhalingstijden voor de $T_{\text{eff,cum}}$ zullen iets langer zijn.

De gemiddelde jaarlijkse minimale T_{eff} in de observaties en in de controlerun komen na de biascorrectie goed overeen (tabel 3.4). Echter de standaardafwijkingen wijken af en daarom ook de minimale en maximale waarden. Dit levert alsnog een bias op tussen de observaties en de controlerun, zoals te zien is in figuur 3.2 met de herhalingstijden.

De tijdshorizon van de Gasunie/NAM loopt tot 2030. M.b.v. de RACMO-resultaten en de observaties is een schatting gemaakt voor 2030 (groene lijn in figuur 3.2). De parameters voor de groene lijn zijn als volgt bepaald: de relatieve verandering is uit de beide RACMO-runs gehaald, en vervolgens is $(2030-1990)/(2100-1990)$ van die verandering opgeteld bij de parameters van de lijn voor $T_{\text{eff,geo}}$. Deze groene lijn levert vervolgens een herhalingstijd van 1 maal per 46,9 jaar op voor een T_{eff} van -17 °C of lager en van 1 maal per 3,2 jaar voor een T_{eff} van -10 °C of lager. Dit verschil in herhalingstijden tussen 2030 t.o.v. de periode 1906-1990 lijkt aanzienlijk. De standaardafwijking van de gemiddelden van de observaties en de schatting voor 2030 is 0,92 °C. De lijnen voor de observaties en 2030 in fig. 3.2 liggen iets meer dan 1 maal deze std. van elkaar.

Op basis van de RACMO runs tot 2100 is de verwachting dat de herhalingstijden voor lage T_{eff} zullen toenemen. Echter tot 2030 is de verandering veel kleiner en bovendien is er een vrij grote bias tussen observaties en controlerun. Daarom kan er geen uitspraak gedaan worden over de veranderingen van de herhalingstijden voor lage T_{eff} tot 2030 t.o.v. de periode 1906-1990. Bovendien kan door natuurlijke interdecadale variatie in circulatiepatronen en de onzekerheid hierover de herhalingstijd voor lage T_{eff} ook anders zijn dan bovengenoemde schatting voor 2030 (bijv. bij relatief meer geostrofische westenwinden in de winter, zullen de herhalingstijden waarschijnlijk toenemen). Op basis van analyse van de resultaten van meer modellen kan misschien wel geconcludeerd worden dat de herhalingstijden voor extreem lage T_{eff} in de toekomst langer zullen worden. Ook andere GCM's en RCM's geven aan dat de gemiddelde

temperatuur in de toekomst zal stijgen. Daarom lijkt het waarschijnlijk dat de kans op een T_{eff} van bijv. -17 °C ook zal afnemen. Echter, de verandering in het gemiddelde voor de toekomst hoeft niet overeen te komen met de veranderingen in extremen waarden (m.a.w. de richtingscoëfficiënt van de lijn in figuur 3.2 hoeft in de toekomst niet hetzelfde te blijven als in de observaties).

3.4. De Bilt: temperatuursom ($18-T_{\text{gem}}$)

In Tabel 3.5 wordt een overzicht gegeven van de winter-temperatuursommen ($18-T_{\text{gem}}$, temperaturen boven 18 °C niet meegerekend; oktober-maart) door de jaren heen. Er lijkt een trend zichtbaar naar lagere winter-temperatuursommen. Dit is in overeenstemming met de analyses van Klein Tank (2004), waarbij een toename van de gemiddelde wintertemperatuur is gevonden.

Tabel 3.5. Gemiddelde, standaard afwijking en minima en maxima voor de winter-temperatuursom beneden 18 °C ($18-T_{\text{gem}}$, temperaturen boven 18 °C niet meegerekend) voor verschillende perioden in De Bilt.

Periode		$18-T_{\text{gem}}$	Winter
1906- 1960	Gem.	2441	1907(2451), 1932(2450), 1937(2429), 1955(2449)
	Std.	175	
	Min.	2142	1956/57
	Max.	2899	1941/42, 1946/47
1961- 1990	Gem.	2385	1968(2373), 1971(2390), 1973(2383), 1984(2386)
	Std.	207	
	Min.	1924	1989/90
	Max.	2965	1962/63
1991- 2004	Gem.	2232	1991(2240), 1999(2245)
	Std.	155	
	Min.	1973	2001/02
	Max.	2611	1995/96

Tot nu toe zijn door de Gasunie/NAM vooral de extreme winters van 1962/1963 en 1946/1947 gebruikt voor het plannen van het maximale volume. Ook gegevens van 1941/1942 zijn nog wel eens gebruikt bij analyses. Uit bovenstaande tabel blijkt dat dit inderdaad de koudste winters waren in de periode 1906-1991. Andere erg koude winters waren die van 1939/40 (2857 °Cd), 1923/24 (2748 °Cd), en 1928/29 (2753 °Cd). In Tabel 3.5 staan ook de winters aangegeven die als gemiddeld voor de verschillende perioden kunnen worden aangemerkt. In de periode voor 1991 is de frequentie van de volgende wintertemperatuursom het volgende geweest:

- >2800 °Cd 4 maal (1 maal in de 21,3 jaar)
- >2700 °Cd 7 maal (1 maal in de 12,1 jaar)
- >2600 °Cd 12 maal (1 maal in de 7,1 jaar).

Om meer te kunnen zeggen over de herhalingsfrequentie van een winter als 1962/63 moet wellicht gebruik gemaakt worden van methoden zoals beschreven in Annex 2.

Tabel 3.6 geeft de resultaten van RACMO voor de temperatuursom ($18-T_{gem}$) en de gemiddelden, standaard afwijkingen, etc. op basis van de historische gegevens. De tabel laat zien dat de jaarlijkse en winter-temperatuur som ($18-T_{gem}$) in de toekomst afnemen volgens RACMO. Ook de extremen nemen af, echter de RACMO-runs geven slechts resultaten voor 30 jaar en het is dus onmogelijk om iets te zeggen over gebeurtenissen met een herhalingsstijd van 1 maal in de 10 jaar of meer. De geschatte verandering voor 2030 t.o.v. 1961-1990 in de jaarlijkse temperatuur som ($18-T_{gem}$) is meer dan 6 maal de standaardafwijking van de gemiddelden (58,1 °Cd). Voor de winter-temperatuursom is de afwijking bijna 4 maal de standaardafwijking van de gemiddelden (51,6 °Cd) voor de periode 1961-1990 en 2030.

Tabel 3.6. RACMO simulatie resultaten voor de temperatuursom ($18-T_{gem}$), controlerun voor 1961-1990 en toekomst run voor 2071-2100, observaties voor station De Bilt en schattingen voor het jaar 2030.

		Observeraties	RACMO +bias-corr **	RACMO +bias-corr **	Schatting*
		Periode	Periode	Periode	
		1961-1990	1961-1990	2071-2100	2030
Jaarlijkse temperatuur som: $18-T_{gem}$*	Gem.	3200	3093	2038	2816
	Std.	237	209	139	212
	Min.	2677	2661	1787	2359
	Max.	3717	3686	2263	3200
Winter temperatuursom: $18-T_{gem}$*	Gem.	2389	2289	1731	2186
	Std.	205	153	126	195
	Min.	1924	2040	1469	1716
	Max.	2965	2747	2048	2711

* Schatting gebaseerd op een lineair verband. Voor minima en maxima slechts een indicatie, want extremen zijn inherent zeldzaam en dus moeilijk goed te schatten.

** De trend is uit de RACMO resultaten gefilterd. Alle waarden zijn genormaliseerd voor 1990 of 2100.

Zoals eerder aangegeven zijn de bovenstaande resultaten slechts gebaseerd op 1 model. Daarom kunnen er geen kwantitatieve uitspraken gedaan worden. Ook andere modellen geven aan dat de gemiddelde temperatuur zal stijgen in de toekomst en dit is ook al te zien in de historische gegevens (Klein Tank, 2004). Daarom kan geconcludeerd worden dat de winter temperatuursom ($18 \cdot T_{\text{gem}}$, oktober-maart) zeer waarschijnlijk aanzienlijk zal afnemen.

4. Referenties

- Abramowitz, M. & L.A. Stegun (eds.), 1970. Handbook of mathematical functions. Seventh edition. Dover Publ. New York.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand, 1999. Rainfall generator for the Rhine basin: Nearest neighbour resampling of daily circulation indices and conditional generation of weather variables. KNMI-publication 186-III, KNMI, De Bilt
- IPCC, 2001. Third assessment report. IPCC.
- Kjellström, E., Lars Bärring, Daniela Jacob, Richard Jones, Geert Lenderink & Christoph Schär, 2005. Variability in daily maximum and minimum temperatures: Recent and future changes over Europe. Submitted to special issue of Climatic Change of the PRUDENCE project.
- Klein Tank, A., 2004. Changing extremes. Temperature and precipitation in Europe's climate of the 20th century. PhD thesis.
- Können, G.P. (Ed.), 1999. De toestand van het klimaat in Nederland 1999., KNMI, De Bilt.
- Van den Brink, H., 2005. Extreme winds and sea-surges in climate models. PhD thesis.

Met dank aan:

Jules Beersma (herhalingstijden, Geo-wind)
Theo Brandsma (informatie over windgegevens voor De Bilt)
Adri Buishand (regenvgenerator, statistiek)
Geert Lenderink (RACMO-resultaten)
Geert-Jan van de Oldenborgh (gebruik "Climate Explorer")
Job Verkaik (informatie over windgegevens voor De Bilt)
Albert Klein Tank
Bart van den Hurk

ANNEX 1. Metadata van de stations Eelde/Groningen en De Bilt

<http://www2.knmi.nl/kd/lijsten/daggem/metadata/eelde.html>

280 Eelde



06280 Eelde	voortzetting van	Groningen
Positie: 53° 08' N.B. 06° 35' O.L.		Positie: 53° 13' N.B. 06° 33' O.L.
Terreinhoogte t.o.v. NAP: +3,5 meter		Terreinhoogte t.o.v. NAP: +2,10 meter
Metingen: 19460201 - heden		Metingen: 19060101 - 19460131
Karakteristiek omgeving:	Gelegen in vlak, open landschap (voornamelijk grasland): vliegveld	
Grondsoort:	Zand	
Hoogte barometer t.o.v. NAP:	+3,7 meter	
Hoogte windmeetmast:	10 meter	

Temperatuurmetingen:	gemeten m.b.v.:
19060101 - 19590730	thermograaf in Stevensonhut (op 2,20 meter boven maaiveld)
19590731 - 19730228	thermograaf in Stevensonhut (op 1,50 meter boven maaiveld)
19730301 - 19910315	weerstandsmeting in Stevensonhut (op 1,50 meter boven maaiveld)
19910316 - heden	elektrische sensoren in schotelhut (op 1,50 meter boven maaiveld)



06260 De Bilt

Positie:	52° 06' N.B. 05° 11' O.L.
Terreinhoogte t.o.v. NAP:	+2,0 meter
Metingen:	19010101 - heden
Karakteristiek omgeving:	Gelegen in overgangsgebied van Utrechtse heuvelrug naar Kromme Rijgebied; half open landschap: gras- en bouwland afgewisseld door bebouwing en bebossing
Grondsoort:	Zand
Hoogte barometer t.o.v. NAP:	+3,6 meter
Hoogte windmeetmast:	20 meter

Temperatuurmetingen: gemeten m.b.v.:

19010101 - 19500516	thermograaf in grote pagodehut (op 2,20 meter boven maaiveld)
19500517 - 19610628	thermograaf in Stevensonhut (op 2,20 meter boven maaiveld)
19610629 - 19930625	weerstandsmeting in Stevensonhut (op 1,50 meter boven maaiveld)
19930626 - heden	elektrische sensoren in schotelhut (op 1,50 meter boven maaiveld)

Windmetingen: meethoogte: gemeten m.b.v. en bijzonderheden:

19040101 - 19150823	37,0 m	molentje van Robinson op houten toren op hoofdgebouw; windrichting anemograaf "Sass en Co" systeem Steffens
19150901 - 19161031	18,0 m	idem; tijdelijke meting op 18,0 m; herleid naar 37,0 m met de factoren: NO 2.02; W 1.81; NNW 1.55 en ZZO 1.26

19161101 - 19530216	37,5 m	idem; op betonnen toren op hoofdgebouw; ter vergelijking ook een Dines aanwezig op de toren
19530217 - 19601231	38,3 m	idem; op nieuwe toren (de spijker) diverse molentjes
19610101 - 19820731	10,0 m	cup anemometer met frequentiemeter en elektrische windvaan; Nieaf recorder
19820801 - 19930524	10,0 m	idem; Camille Bauer recorder (er was een back- up mast van 20,0 m hoog)
19930525 - 19930625	10,0 m	idem; AWS (digitale registratie)
19930626 - heden	20,0 m	idem; AWS (digitale registratie)

ANNEX 2. Andere methoden voor analyse van extremen

“Zachte” klimaatextremen zijn die situaties die een terugkeer frequentie hebben van eens in de 5-60 dagen. Een samenleving/ecosysteem is normaalgesproken goed ingesteld op deze situaties. “Harde” klimaatextremen komen veel minder voor en hebben een veel grotere impact. Met alleen een beperkt aantal historische gegevens is een statistische analyse van trends in de “harde” extremen (bijv. met terugkeer van eens in de 100 jaar) niet mogelijk (Klein Tank, 2004). Met de onderstaande nieuw ontwikkelde methoden kan echter het aantal waarnemingen synthetisch verhoogd worden.

Nearest Neighbour Resampling

Met behulp van een regenval/weer generator gebaseerd op “nearest neighbour resampling” (Beersma & Buishand, 1999) worden nieuwe combinaties van daggegevens gemaakt.

Voordelen:

- Voor het verkrijgen van groot aantal jaren met mogelijke gegevens voor statistische analyses (voor verkleinen onzekerheid over kansen op harde klimaatextremen);
- geschikt voor single-site en multi-site, bij multi-site kan de ruimtelijke associatie van gegevens behouden blijven;
- associatie tussen bijv. regenval en temperatuur per site blijft behouden;
- consistent (zelfde variabiliteit als in gemeten waarden).

Nadelen:

- geen uitspraken mogelijk over dagextremen (wanneer dagwaarden als basis worden gebruikt), omdat de maximale/minimale dagwaarde nooit hoger/lager zal zijn dan de maximale/minimale dagwaarde in de gemeten gegevens;
- bij gebruik van relatief korte periode met historische gegevens introductie van onzekerheid, omdat dan bijv. geen rekening wordt gehouden met natuurlijke interdecadale variatie in circulatiepatronen;
- Moeilijk om veel variabelen tegelijk mee te nemen, omdat het moeilijk is de relatie tussen al deze variabelen tegelijk te bepalen.

ECMWF-voorspellingen

Een andere methode is gebaseerd op de middellange weersverwachtingen van het European Centre for Mid-term Weather Forecasts (ECMWF). Sinds augustus 2001 produceert het ECMWF elke maand een ensemble van 40 globale seizoensverwachtingen voor de komende 6 maanden. Voor de periode 1987-2001 is het zelfde gedaan, maar dan achteraf (hindcasts). Dit leverde een groot aantal (> 1500 jaar) met mogelijke dagelijkse weersgegevens op (Uit H. van den Brink (2005) “Extreme winds and sea surges in climate models”).

Voordelen:

- Voor het verkrijgen van een groot aantal jaren met mogelijke gegevens voor statistische analyses (voor verkleinen onzekerheid over kansen op harde klimaatextremen)
- geschikt voor single-site en multi-site
- associatie tussen bijv. regenval en temperatuur per site
- ook geschikt voor analyse van dagextremen

Nadelen:

- in de gesimuleerde gegevens kan een systematische fout zitten, die gecorrigeerd moet worden (bijv. relatief meer wind uit het westen of andere variabiliteit dan in gemeten reeks)
- de reeksen met gesimuleerde gegevens beslaan telkens 6 maanden. Deze reeksen moeten aan elkaar gekoppeld worden;
- De reeksen beslaan een relatief korte historische periode, waardoor mogelijk geen rekening wordt gehouden met natuurlijke interdecadale variatie in circulatiepatronen.

Bovenstaande methoden zijn nog niet gebruikt voor analyse van het toekomstige klimaat (over 30-100 jaar), maar dat zou in principe wel kunnen met enige aanpassingen. In verschillende projecten wordt al wel gewerkt met ensemble-runs voor het toekomstige klimaat. Daarbij worden runs van verschillende modellen voor dezelfde situatie gebruikt en/of verschillende runs van hetzelfde model met een iets andere beginsituatie worden gebruikt (dit laatste is vergelijkbaar met de ECMWF forecasts/hindcasts). Analyse van de resultaten van al deze runs vergt echter veel tijd.