

METEOROLOGICA



**De KNMI "pagode":
het laatste restant van een
voorbije tijd**



**Meting van windprofielen
boven zee geeft inzicht in
gedrag van de grenslaag**



**Hoe vaak komen langdurige
perioden met kou nog voor
in de toekomst?**



**Geert Jan van Oldenborgh en Kees Floor winnaars
van de NVBM award**

Wij wensen u een winterse kerst en een weergaloos 2012



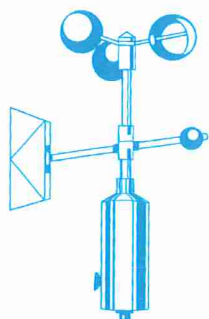
EEN BEHOUDEN VAART
A SAFE JOURNEY



SEXTANT TROUGHTON & SIMMS

DEZE SEXTANT KOMT UIT DE MUSEUMCOLLECTIE VAN WITTICH & VISSER

wittich & visser
altijd druk in het weer



ingenieursbureau **wittich & visser**

wetenschappelijke en meteorologische instrumenten

tel 070 3070706 | fax 070 3070938 | info@wittich.nl | www.wittich.nl

ARTIKELN

4 PYROCUMULUS KLEURT ROOKPLUIM

WIT

Kees Floor

6 ROBERT FITZ ROY: ZEEMAN EN

METEOROLOG (DEEL 2)

Wouter Lablans en Gerard van der Schrier

10 DE CENTRAAL NEDERLAND TEMPERATUURREEKS

Gerard van der Schrier, Aad van Ulden en Geert Jan van Oldenborgh

17 ZOALS DE WIND WAAIT... AAN

HET EIND VAN MIJN LOOPBAAN

Geert Groen

20 DE KOUDEGOLVEN VAN DE TOEKOMST

Hylke de Vries

25 NORMALEN VOOR DE DAGELIJKSE

MINIMUM- EN MAXIMUMTEMPERATUUR

Seijo Kruizinga

RUBRIEKEN

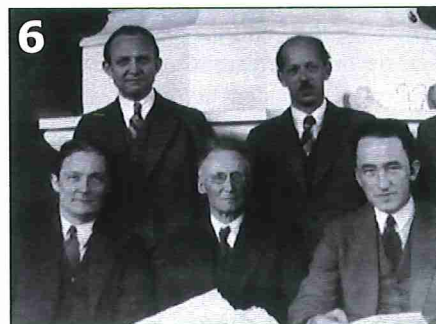
Boekenactie	24
NVBM mededelingen	24
Nieuwe producten	28
Seizoensoverzicht	30
Index jaargang 20	34

COLUMNS

MIJN MOOISTE JAREN	15
Huug van den Dool	
NANMADOL (1111)	33
Kees Stigter	

ADVERTENTIES

Wittich en Visser	2
Catec	29
Wageningen Universiteit	31
Buienradar	36
Colofon	35



OMSLAG

Grote foto's. Uithanden van prof. Bert Holtslag ontvangen twee laureaten de prestigieuze NVBM award. Tijdens het NVBM najaarssymposium op vrijdag 4 november 2011 dat als onderwerp had "Kansverwachtingen in de praktijk" werden Geert-Jan van Oldenborgh (boven) in de categorie "Onderzoeker" en Kees Floor (onder) in de categorie "Operationeel Meteoroloog" gehuldigd met deze prijs die eens in de vijf jaar wordt uitgereikt (foto's: Rob Groenland; zie bladzijde 24).

Figuur boven. De "Pagode" met in de nok van het dak de thermograaf. De foto is genomen op het moment van aflezen van de thermograaf. Het is geen verrassing dat met deze opstelling de temperatuur onder de kap flink op kon lopen. Naast de Pagode staat een Stevensonhut. De hoogte van de thermometer in die hut was 2.20 m, vandaar het trapje voor de Stevensonhut. Merk op dat het meetveldje destijds niet bepaald aan de huidige WMO-normen voldeed. (zie bladzijde 10).

Figuur midden. Noordzee Windpark: windturbines van het Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) en de Meetmast no.5. Met gegevens van dit soort meetmasten is door het KNMI onderzoek uitgevoerd naar oppervlakteruwheid met behulp van windprofielen (foto Sander de Jong, <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat Noordzee, zie bladzijde 17).

Figuur onder. Ijspret op de bevroren uiterwaarden van de Rijn bij Wageningen in januari 2009. In een toekomstig warmer wordend klimaat is het nog maar de vraag hoe vaak dit soort tafereel te zien zal zijn. Met modelsimulaties is daar wellicht een antwoord op te geven (zie bladzijde 20).

VAN DE HOOFDREDACTEUR

Als ik dit schrijf is zojuist de klimaatconferentie in Durban, Zuid-Afrika begonnen. De laatste kans om het Kyoto-protocol te vernieuwen. Politici uit de hele wereld moeten het daar eens zien te worden over maatregelen om de CO2-uitstoot te beperken. Als u dit leest is de conferentie voorbij en zal het waarschijnlijk weer niet gelukt zijn: de belangen lopen te ver uiteen. Doet me denken aan de euro, ook daar lukt het niet om het eens te worden over maatregelen. Projecties van economie en klimaat kennen daarbij nog teveel onzekerheden om alle politici te overtuigen. En ook al zijn ze overtuigd, men komt pas in actie als het water tot aan de lippen is gestegen of als de wal het schip keert. Bij het klimaat zijn we dan het 'point of no return' allang gepasseerd vrees ik. Of heeft moeder aarde nog een verrassing voor ons in petto: negatieve terugkoppelingsmechanismen waarvan we het bestaan niet vermoeden? Het leidt hooguit tot nog verder uitstel van maatregelen. Dit zijn zo wat sombere

overpeinzingen in deze donkere dagen. Gelukkig ligt er een extra dik decembern timer voor u met weer heel veel lezenswaardig materiaal over het verleden (de artikelen over Fitz Roy, over de Centraal Nederlandse temperatuurreeks en de column van Huug van den Dool), het heden (de artikelen over pyrocumulust en de normalen van de maximum- en minimumtemperatuur) en de toekomst (het artikel over koudegolven). Een soort meteorologische Christmas Carol dus, deze editie. Daarnaast nog een afscheidsartikel van Geert Groen (oud NVBM-voorzitter) die met pensioen gaat: het ga je goed Geert!! Als cadeau onder de kerstboom is misschien de Bosatlas van het klimaat (met een leuke korting voor onze leden) erg geschikt en kunnen we dit jaar, ondanks alles, toch feestelijk afsluiten.

Ik wens u, mede namens de rest van de redactie veel leesplezier, prettige feestdagen en een heel goed 2012.

Veel leesplezier! Leo Kroon

Pyrocumulus kleurt rookpluim wit

KEES FLOOR

De zogenaamde rookpluimen van natuurbranden op satellietbeelden zijn meestal opvallend wit van tint. Waarom is die rook niet grijs of bruin? Waarnemingen van dichterbij helpen met het vinden van het antwoord.

Natuurbranden komen op talrijke plaatsen op aarde geregeld voor. Het weer speelt bij het ontstaan en het verloop van de branden een belangrijke rol. Zo breken de branden bij voorkeur uit in perioden met grote droogte en hoge temperaturen, worden ze soms aangestoken door de bliksem, zijn ze voor hun ontwikkeling mede afhankelijk van de wind, worden ze soms tegengewerkt door regen en volgen ze de dagelijkse gang van wind, temperatuur en opbouw van de atmosfeer (Coen 2003; Floor

2003, Roberts 1974).

De heviger branden zijn vanaf grote afstand zichtbaar door de ermee samenhangende rookpluimen. Deze pluimen zijn zelfs vanaf ruim 700 kilometer hoogte goed waar te nemen; we zien ze namelijk duidelijk op satellietbeelden van de Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) op de Europese satelliet Envisat (voorbeeld in Floor 2011) en van de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) op de Amerikaanse satellieten Terra en Aqua

(figuren 1 en 2). Doordat de Aqua in de middag overkomt, levert de MODIS van deze satelliet meestal duidelijker beelden van de rookpluimen dan die van de Terra. In de middag is namelijk de temperatuur het hoogst, de wind het sterkst en de onstabieleit het grootst, waardoor de natuurbranden dan het felst zijn. Wel kunnen stapelwolken, gevormd door de in de loop van de dag op gang gekomen convectie, sommige brandhaarden aan het zicht onttrekken.

Vuurhaarden

De vuurhaarden liggen meestal aan het begin van de rookpluim; in sommige gevallen zijn er onder de pluim nog secundaire haarden. De locaties van de vuurhaarden kunnen ook afgeleid worden uit infraroodmetingen vanuit de satelliet. Als de temperatuur volgens de metingen in twee daarvoor uitgekozen MODIS-banden een vooraf bepaalde drempelwaarde overschrijdt, is brand waarschijnlijk (Justice et al. 2006). De zo gevonden locaties kunnen desgewenst als rode vlekken worden 'ingetekend' in de bijbehorende satellietbeelden in natuurlijke kleuren.

De resolutie van de bepaling van de brandhaarden is 1 kilometer. Deze resolutie is lager dan die van de zichtbaarlichtbeelden, waarvan de resolutie 250 meter bedraagt. De meeste branden worden dan ook gemist; naar schatting wordt slechts een kwart gedetecteerd. Dat zijn dan wel de grootste branden, die gezamenlijk goed zijn voor meer dan 80 procent van de door natuurbranden gegenereerde verbrandingsproducten. Ter illustratie kan de situatie dienen van 15 en 16 mei 2011 in de Canadese staat Alberta. Figuur 1 toont Alberta in de middag van 15 mei nagenoeg helemaal. Volgens officiële gegevens woedden er de ochtend daarna in Alberta 116 natuurbranden, waarvan er 34 nog niet onder controle waren. Die getallen zijn veel hoger dan uit het satellietbeeld kan worden afgeleid.

Witte rook

Rook van natuurbranden associëren we niet alleen met vuur en stank, maar ook met een bruin of grijs waas. Bij uit-



Figuur 1. Rookpluimen (en pyrocumulus) en vuurhaarden van natuurbranden in Saskatchewan (rechtsonder) en Alberta (overige), Canada, 15 mei 2011. De vuurhaard van de brand in Saskatchewan ligt even ten oosten van het op het satellietbeeld zichtbare Cold Lake. De twee kleinere rookpluimen boven Alberta waaiëren onder ander uit over Lesser Slave Lake. Instrument: MODIS. Satelliet: Aqua. Bron: NASA/GSFC MODIS Rapid Response.



Figuur 2. Rookpluim (en pyrocumulus) en vuurhaard van een natuurbrand op de Kalmthoutse Heide, 25 mei 2011, waarbij 600 hectare natuurgebied verloren ging. Instrument: MODIS. Satelliet: Aqua. Bron: NASA/GSFC MODIS Rapid Response.



Figuur 3. Rookpluimen (en pyrocumulus) van een op 20 juli 2010 door de bliksem aangestoken natuurbrand in Twitchell Canyon, Utah, 21 september 2010, waargenomen vanaf een hoogte van 352 kilometer vanuit het internationale ruimtestation ISS. De branden hadden op dat moment al meer dan 13000 hectare natuurgebied verwoest. Bron: NASA/ISS024-E-15121.

waaiende rook op grotere afstand van de vuurhaarden zijn deze tinten meestal goed terug te vinden. De bij de brandhaarden ontspringende rookpluimen hebben op de satellietbeelden in natuurlijke kleuren doorgaans echter een opvallend witte tint. Van witte rook weten we dat die kleur vaak wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van chemicaliën, bij bosbranden is hier natuurlijk geen sprake van. Hoe komt die rook dan zo wit?

Een mogelijke verklaring van de lichte tinten zou kunnen zijn dat het grijs van de rook op satellietbeelden helder afsteekt tegen de donkere tinten van het landoppervlak of van de oceaan op diezelfde beelden en daardoor geïnterpreteerd wordt als wit.

Als we de branden van dichtbij met meer detail kunnen bekijken, blijkt er

echter meer aan de hand. Dat dichtbij komen kan bijvoorbeeld middels foto's vanuit het op ongeveer 350 kilometer hoogte overkomende internationaal ruimtestation ISS (figuur 3), vanuit vliegtuigen of vanaf de grond ergens in de buurt van de brand. Door de grote natuurbranden in het extreem droge voorjaar van 2011, op 1 mei in de Schoorlse Duinen en op 25 mei op de Kalmthoutse Heide, was het ook voor een waarnemer in Nederland of België mogelijk wat dicht bij een grote brand met 'rookpluim' te komen. Dat het om grote branden ging, blijkt wel uit de schade die optrad: bij Schoorl werd 250 hectare heidegebied verwoest; bij Kalmthout ging zelfs 600 hectare natuurgebied in vlammen op. Naar Amerikaanse maatstaven waren deze branden overigens nog zeer bescheiden. Zo was er op 21 september 2010, tijdens een door de blik-

sem op 20 juli aangestoken natuurbrand in Twitchell Canyon, Utah (figuur 3) na twee maanden brand al meer dan 13000 hectare natuurgebied verloren gegaan.

De rookpluimen in Nederland en België konden worden gefotografeerd vanuit de duinen bij Bergen aan Zee (figuur 4) respectievelijk vanaf de oever van de Schelde in Antwerpen (figuur 5). Van de brand in het Belgisch-Nederlands grensgebied is tevens een MODIS-beeld beschikbaar van vrijwel hetzelfde tijdstip (figuur 2). Toen de brand bij Schoorl uitbrak, was de Aqua, die de middagbaan van de MODIS voor haar rekening neemt, al gepasseerd, zodat er geen satellietbeeld gevonden kon worden dat overeenkomt met de situatie van figuur 4. Op het Terra-beeld van de volgende ochtend (niet afgebeeld) zijn nog wel, in dit geval bruinige, sporen van een rookpluim terug te vinden.

Brandstapelwolken

De foto's vanuit het ISS en vanaf de grond laten zien dat het niet om pluimen van 100 procent rook gaat, al zien we wel wat bruinige tinten. De 'rookpluim' lijkt vooral te bestaan uit stapelwolken, die overigens op het oog door de aanwezigheid van verbrandingsproducten wel een wat bruinere tint hebben dan normaal. Dergelijke stapelwolken zijn bij grote branden heel gebruikelijk. Ze ontstaan door de intense hitte van het vuur met de bijbehorende stijgende luchtbewegingen. De verbrandingsproducten die bij de brand vrijkomen, fungeren als effectieve condensatiekernen. Deze leggen samen met vocht dat reeds in de atmosfeer aanwezig is of door verdamping tijdens de brand vrijkomt, de basis voor de ontwikkeling van pyrocumuli (letterlijk: brandstapelwolken), zoals deze door branden



Figuur 4. Rookpluim (en pyrocumulus) van een natuurbrand in de Schoorlse Duinen, 1 mei 2011, gezien vanuit het Noordhollands Duinreservaat ten zuiden van Bergen aan Zee. De door de zon belichte delen van de 'rookpluim' zijn helder wit; in de schaduwzijde zijn de tinten donkerder en soms wat bruinig (Foto: Kees Floor).



Figuur 5. Rookpluim (en pyrocumulus) van een natuurbrand op de Kalmthoutse Heide, 25 mei 2011, gezien vanaf de oever van de Schelde in Antwerpen. Een satellietbeeld van deze pluim is afgebeeld als figuur 2 (Foto: Kees Floor).

veroorzaakte bewolking in de vakliteratuur wordt genoemd.

Pyrocumuli hebben een sterk uiteenlopende verticale ontwikkeling, van humilis tot congestus; soms bereiken ze boven immense vuurzeeën het buienstadium, en daarmee de status van pyrocumulonimbus (Fromm 2010, Floor 2011). Uit de kleinere pyrocumuli valt geen regen. Pyrocumulonimbi kunnen echter wel regen en af en toe zelfs hagel brengen. Bovendien gaan ze in uitzonderlijke gevallen vergezeld van onweer, windstoten en windhozen. Verder staat rond de vertikaal sterker ontwikkelde pyrocumuli en rond pyrocumulonimbi doorgaans een stevige, vlaggerige wind, die de manier waarop een natuurbrand zich uitbreidt, op een onvoorspelbare wijze kan

beïnvloeden. Daarmee vormen ze een extra gevaar voor brandweerlieden, wegvluchtende pyromanen, toegestroomde ramptoeristen en eventuele bewoners of recreanten.

Overall waar branden zijn, kunnen de pyrocumuli zich vormen. In gebieden met veel natuurbranden, zoals het Middellandse Zeegebied, Californië of het zuidoosten van Australië, zijn ze minder zeldzaam dan bij ons.

Pyrocumuli als witwaster

Pyrocumuli zijn kennelijk in grote mate verantwoordelijk voor de witte tinten van de zogenaamde rookpluimen op satellietbeelden. Het gebruik van het woord rookpluim in de bijchriften van satellietbeelden van natuurbranden, zoals zelfs

op de sites van NASA en ESA het geval is, zet de lezer op het verkeerde been. Doordat de resolutie van de beelden, 250 meter bij MODIS, 300 meter bij MERIS, vaak onvoldoende is om afzonderlijke pyrocumuli te onderscheiden, wordt een interpretatie als rook in plaats van stapelwolken verder in de hand gewerkt.

Dit blijkt onder andere uit vergelijking van figuur 2 en figuur 5. De witte, Kalmthoutse 'rookpluim' op het satellietbeeld bestond, zeker in de eerste tientallen kilometers na de vuurhaarden, uit stapelwolken, zoals in de middag te zien was vanuit Antwerpen (figuur 5) en in de avond vanuit de trein van Antwerpen naar Roosendaal. Als de branden in Schoorl eerder op de dag zouden zijn aangestoken, hadden we ongetwijfeld ook een langgerekte witte pluim van pyrocumuli op het MODIS-Aqua-beeld van 1 mei kunnen aantreffen.

Literatuur

- Coen, J., 2003: Wildfire Weather; in: Holton, J.R., Curry, J.A. & Pyle, J.A., Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Vol 2, 509-520 Amsterdam, Academic Press.
- Floor, K., 2003: Bosbranden en Weer, Zenit 30 (10), 440-442.
- Floor, K., 2011: PyroCb's brengen rook naar stratosfeer, Meteorologica 20 (1), 12-15.
- Fromm, M. et al., 2010: The untold story of pyrocumulonimbus. Bull. Am. Met. Soc., 91, 1193-1209.
- Justice, C. et al., 2006: MODIS Fire products, version 2.3, EOS ID# 2741.
- Roberts, C.F., 1974: Weather and forest fires, Weatherwise 27 100-105, 115.

Robert Fitz Roy: zeeman en meteoroloog (deel 2)

WOUTER LABLANS EN GERARD VAN DER SCHRIER (KNMI)

In het eerste deel van dit artikel hebben we gezien hoe Robert Fitz Roy zijn visie omtrent de betekenis van de luchtsoorten voor de ontwikkeling van de depressies van de gematigde breedten toepaste in zijn weerdienst. In dit tweede deel zullen we zien dat na zijn dood gedurende lange tijd in het geheel geen gebruik gemaakt werd van het werk van Fitz Roy. We menen te kunnen aantonen dat zelfs de meteorologen van de Noorse School, toen zij omstreeks 1920 de luchtsoorten en de fronten in de operationele meteorologie introduceerden, het werk van Fitz Roy niet kenden, maar dat zij geïnspireerd werden door het werk van onderzoekers van de generatie van Max Margules en dat de waardering voor het werk van Fitz Roy bij de Noren dateert van omstreeks 1930.

Van Fitz Roy tot de Noorse school

Van den Dool merkte in Meteorologica van maart 2010 op dat de meteorologie twee takken kent, de empirische tak en de theoretische tak, die bij voorkeur in samenhang met elkaar beoefend dienen te worden. Ook Tor Bergeron (figuur 1), een van de belangrijkste leden van de Noorse School (figuur 2), was die mening toegedaan. In 1959 wees hij er op dat na Fitz Roy gedurende lange tijd die samenhang ontbrak waardoor weinig vorderingen gemaakt werden met de ontwikkeling van de operationele meteorologie. Over hoe in de tweede helft van de negentiende eeuw veel wetenschappers

over de operationele meteorologie dachten zegt hij: *Scientific brains were not specially attracted to such a monotonous and easy routine work, involving so little success scientifically and as a career. Thus, they mostly returned or stayed within related but 'superior' sciences such as physics and astronomy, to the great detriment of meteorology.* Hij voegt daar een wat zure opmerking aan toe: *The same tendency is still discernible today.*

Deze klacht was wel terecht, en zelfs in de eenentwintigste eeuw kennen we daarvan nog voorbeelden. Zo deelde Huug van den Dool ons mee dat in de Verenigde

Staten op de operationele weerdiensten in het algemeen geen medewerkers met een geavanceerde theoretische opleiding werkzaam zijn. De ontwikkeling van de operationele meteorologie wordt daarvoor evenwel niet meer belemmerd, daar het nu juist de theoretici zijn die zich door verbeteringen van de numerieke verwachtingsmodellen met de ontwikkeling van de operationele meteorologie bezig houden (het kan verkeren!).

In de tweede helft van de negentiende eeuw introduceerden onderzoekers met belangstelling voor de natuurkunde van de atmosfeer de toen kort tevoren gevon-



Figuur 1. Tor Bergeron (1889-1977).

den wetten van de thermodynamica in de meteorologie. Dit verklaart volgens Kutzbach (1979) dat de geheel kwalitatieve beschouwingen van Fitz Roy in zijn *Weather Book* gedurende lange tijd niet tot de wetenschappelijke vakliteratuur gerekend werden. Dit zou bij voorbeeld blijken uit het feit dat Fitz Roy niet genoemd wordt door Hildebrandson en Teissereinc De Bort (1900) en ook nog niet door Shaw (1926) in, wat Kutzbach noemt, *their monumental historical studies*.

We hebben al gezien dat Dove geen bijdrage leverde tot de ontwikkeling van de operationele meteorologie en dat was ook nog het geval bij zijn opvolgers op het Pruisische Meteorologische Instituut, tot er onder F. von Ficker in 1923 een begin werd gemaakt met de operationele meteorologie.

In Oostenrijk was de situatie niet beter. Daar was Julius von Hann van 1887 tot 1897 directeur van de Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wenen (figuur 3). Von Hann, 36 jaar jonger dan Dove (1803-1879) had de positie van belangrijkste meteoroloog in Europa overgenomen van Dove wat tot uiting kwam door de toekenning aan von Hann van de eerste Buys Ballot medaille in 1903.

Von Hann was van mening dat de weinige leerboeken over de meteorologie verouderd waren. Dit leidde in 1901 tot de eerste druk van zijn *Lehrbuch der Meteorologie* waarvan nog tot 1951 door Richard Süring bewerkte uitgaven zijn verschenen. Het *Lehrbuch* telde meer dan 800 pagina's, waarin het in de negentiende eeuw uitgevoerde meteorologische onderzoek wordt beschreven. Nadat in het *Lehrbuch* de meteorologische ver-

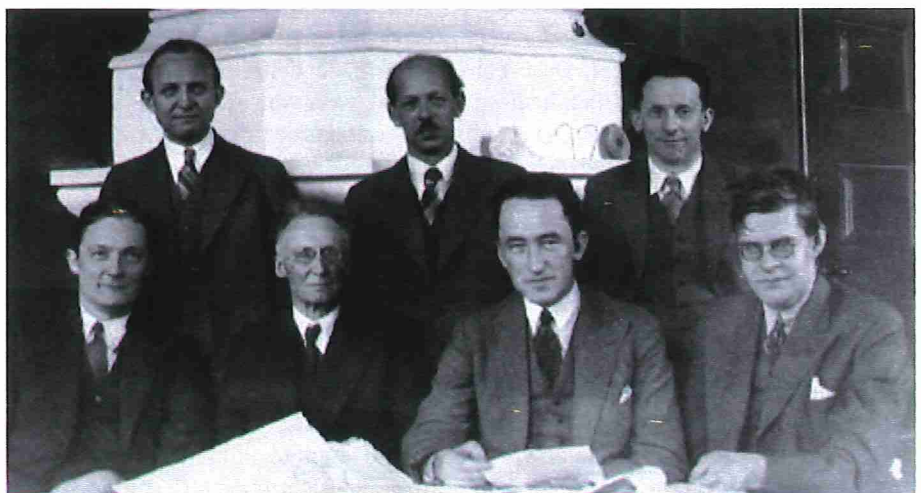
schijnselen afzonderlijk zijn besproken is het laatste deel van dit boek gewijd aan het 'weer', gedefinieerd als het resultaat van het gelijktijdig optreden van de afzonderlijk behandelde weersverschijnselen. Van de mogelijkheden die deze aanpak biedt om te dienen als een inleiding voor het beoefenen van de operationele meteorologie maakte von Hann evenwel geen gebruik. Het weer dat samengaat met lage luchtdruk beschrijft hij aan de hand van een weerkaart die betrekking heeft op een omvangrijke oude depressie. Het ontstaan en de ontwikkeling van de depressies, zo belangrijk voor de weersverwachtingen, komt men zo niet op het spoor, maar voor weersverwachtingen had von Hann dan ook geen belangstelling. F.M. Exner (1921) zegt hierover in een "in memoriam": *Da heute [1921!] noch niemand weisz ob es ja möglich sein wird das Wetter genau auf einige Tage vorauszusagen, so war ihm wohl auch das absolute Streben nach diesem Ziel nicht wissenschaftlich genug.* Fitz Roy wordt door von Hann niet genoemd, hoewel von Hann befaamd was om zijn encyclopedische kennis van de meteorologische literatuur.

Kutzbach (1979) wijst er op dat gedurende de tweede helft van de negentiende eeuw en de eerste decennia van de twintigste eeuw er wel publicaties verschenen waarin onderzoekers wezen op het belang van de luchtsoorten en de scheidingsvlakken daartussen, die later fronten genoemd zouden worden. Zij noemt in dit verband Guldberg en Mohn (1876,1880), Bigelow (1902), en Shaw en Lempfert (1906) en vooral de belangrijkste theoreticus van zijn generatie, Max Margules (1905,1906), die aantoonde dat de ontwikkeling van depressies op de gematigde breedten vooral het gevolg

is van de omzetting in kinetische energie van de potentiële energie die het gevolg is van het naast elkaar voorkomen van luchtsoorten van verschillende temperatuur. Ook gaf Margules (figuur 4), met de wet van Margules, de hellingshoek van de scheidingsvlakken als functie van het verschil in temperatuur en windsnelheid tussen de luchtsoorten en van de coriolisparameter.

Deze onderzoekers hebben echter geen bijdrage geleverd tot de ontwikkeling van de operationele meteorologie. Zij waren geschoold in de destijds geheel deterministische natuurkunde, waar voorspellingen voor de ontwikkeling van een fysisch systeem tot stand komen door het toepassen van een deterministische theorie op de voor een bepaald ogenblik waargenomen toestand van dat systeem, wat dan perfecte voorspellingen zou moeten opleveren, zoals men dat van de astronomie gewend was. De voorspellingen van de operationele meteorologen, verkregen door het extrapoleren van het waargenomen weersverloop, zonder tussenkomst van een theorie, met als resultaat voorspellingen van sterk wisselende kwaliteit, kon dan volgens de wetenschappers niet als wetenschappelijk werk worden beschouwd. Kutzbach citeert de zeer duidelijke mening hieromtrent van niemand minder dan Margules: *forecasting is immoral and a danger to the character of a meteorologist.*

Het lijkt dan ook geen toeval dat de eerste weerdiensten niet werden opgericht door meteorologische onderzoekers, maar door outsiders als Buys Ballot, Le Verrier en Fitz Roy, niet om wetenschap te bedrijven, maar om te voldoen aan de behoefte aan meteorologische voorlichting van de scheepvaart. Het is nu



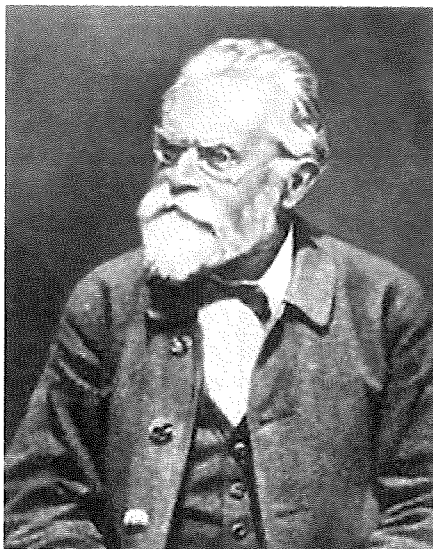
Figuur 2. De Noorse School: Professor Vilhelm Bjerknes in Bergen tussen zijn medewerkers (vlnr) Tor Bergeron, Halvor Solberg, Vilhelm Bjerknes, Harald Sverdrup, Jacob Bjerknes, Sverre Petterssen en Carl Ludvig Schreiner Godske. (© Store Norske Leksikon, <http://snl.no>).

begrijpelijk hoe het kon dat de ontwikkeling van de operationele meteorologie na het overlijden van Fitz Roy lange tijd niet meer behelsde dan het tekenen van de isobaren in de weerkaarten.

De Noorse School en Fitz Roy

Uit de eerste meteorologische publicaties van Vilhelm Bjerknes (1904, 1913, 1914), de grondlegger van de Noorse School (figuur 5), bleek dat hij zich aansloot bij de 'wetenschappelijke richting' in de meteorologie. Dit is begrijpelijk voor een theoretisch natuurkundige van internationaal niveau. Dit blijkt duidelijk uit de schets die hij in 1904 gaf van de wijze waarop weersverwachtingen volgens hem tot stand zouden moeten komen, namelijk door berekening. Men zou daarvoor, zo zegt Bjerknes, moeten beschikken over nauwkeurige kennis van de toestand van de atmosfeer op een bepaald ogenblik, over voldoende kennis van de wetten die bepalend zijn voor de veranderingen in de weersituatie en over wiskundige methoden voor het oplossen van de vergelijkingen die voortvloeien uit deze wetten. Hij presenteerde in 1904 een stelsel van zeven vergelijkingen waarvan de oplossing berekende weersverwachtingen zou opleveren. Hiermee werd hij de grondlegger van de numerieke verwachtingsmethoden.

In 1913 kreeg Bjerknes de leiding van de nieuwe afdeling voor geofysica van de universiteit van Leipzig. In zijn inaugurerende rede zette hij zijn opvattingen over het probleem van de weersverwachtingen nogmaals uiteen. Hij was tot de conclusie gekomen dat met het ontwikkelen van een methode voor het berekenen van weersverwachtingen nog vele jaren van onderzoek gemoeid zouden zijn, maar dat dat geen reden mocht zijn om met dat werk geen begin te maken. De operationele meteorologie noemt hij hier een *höchst inexacte Wissenschaft*. Daarvoor had hij toen geen belangstelling, hetgeen blijkt uit zijn conclusie: *Es gibt am Ende nur eine Aufgabe die das Angreifen wert ist, der Vorausberechnung künftiger Zustände*. Met Noorse en Duitse assistenten ging hij aan het werk, maar de Eerste Wereldoorlog gooide roet in het eten. In 1917 keerde Bjerknes wegens de oorlogsomstandigheden met zijn leerlingen Jakob Bjerknes en Harold Solberg naar Noorwegen terug. Hij was voornemens om aan de in oprichting zijnde universiteit van Bergen in West-Noorwegen zijn theoretische werk voort te zetten. Het bleek evenwel dat er in West-Noorwegen een grote behoefte bestond aan weers-



Figuur 3. Julius Friedrich von Hann, 1839-1921 (© ZAMG).

verwachtingen voor de landbouw en de visserij. Toen hem gevraagd werd om in het landsbelang te voorzien in weersverwachtingen voor West-Noorwegen, stemde hij daarin toe. Kennelijk dacht hij over de empirische weerkunde minder fundamentalistisch dan de hierboven genoemde onderzoekers.

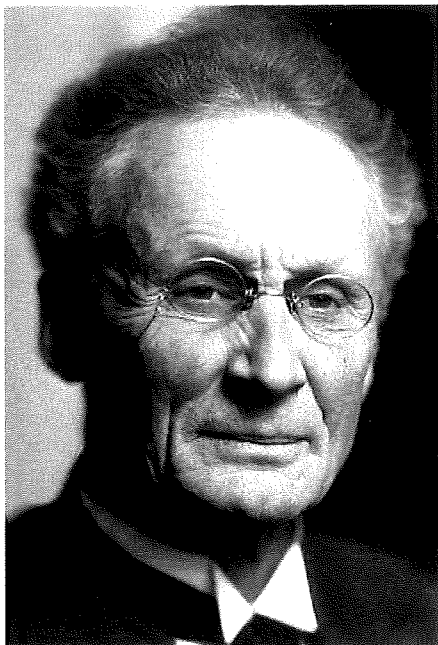
De eerste stap die door de Noren werd gezet was de inrichting van een netwerk van negentig waarnemingsstations in West-Noorwegen. Jakob Bjerknes en Tor Bergeron, een jonge Zweed die zich in 1919 bij de Noorse School voegde, legden zich toe op het analyseren van de weerkaarten voor dit netwerk. Convergentielijnen in de luchtstroming die hierbij aan het licht kwamen werden herkend als de scheidingsvlakken tussen de luchtsoorten die reeds door hun voorgangers, in het bijzonder door Margules, waren beschreven. In de jaren 1918 en 1919 kwam opmerkelijk snel het Noorse depressiemodel tot stand, waarover twee publicaties verschenen. Eerst, in 1919, door J. Bjerknes, een nog te eenvoudige versie en in 1922 door J. Bjerknes en H. Solberg de definitieve vorm. Origineel in het werk van de Noren was dat zij het verband ontdekten tussen de ontwikkeling van onstabiele golven in het polaire front en de ontwikkeling van de depressies van de gematigde breedten en de ontdekking, door Bergeron, van het occlusieproces, het inhalen van het warmtefront door het koufront bij de frontale golven. Een grote verdienste van de Noren, die zij gemeen hebben met Fitz Roy, is dat zij hun visie op de cyclogenese onmiddellijk in hun weerdienst toepasten. Het opnemen van de fronten in weerkaarten was een grote stap vooruit wegens de grote invloed van de verplaatsingen van de fronten op het weersver-

loop en daarmee op de verwachtingen. Met de Noorse School kwam zo een eind de stagnatie van de ontwikkeling van de operationele meteorologie. De publicaties over het depressiemodel van de Noren geven geen aanwijzing dat het werk van Fitz Roy aan hen bekend was. Ook in de uitvoerige beschrijving van het model door Bergeron in zijn proefschrift dat in 1928 als tijdschriftartikel verscheen, wordt in de bijna tweehonderd literatuur-referenties wel verwezen naar Dove, maar niet naar Fitz Roy, een aanwijzing dat het werk van Fitz Roy niet in de vakliteratuur bekend was. Dat de Noren pas later met het werk van Fitz Roy bekend raakten volgt uit een publicatie van S.P. Chromow uit 1933. Deze vestigt er de aandacht op dat aan een weinig bekende auteur, A. Dieckmann, de eer toekomt dat hij in 1931 de eerste was die sinds de tijd van Fitz Roy aandacht schonk aan diens werk, in een niet-meteorologisch tijdschrift. Door Chromow werd het artikel van Dieckmann in een veelgelezen meteorologisch tijdschrift besproken. Hij merkt op: *Dieckmanns dankenswerter Aufsatz gab auch mir den Anlaß mich mit Fitz Roys Werk näher zu beschäftigen*. Hij ontdekte nu ook dat in Rusland het Weather Book van Fitz Roy aanwezig was en dat daarvan zelfs in 1865 een Russische vertaling verschenen was. Over het Weather Book merkt Chromow op: *In der sämtlichen meteorologischen Literatur der letzten Jahrzehnten findet man nirgends ein Hinweis auf dieses Buch*, en hij noemt het werk van de Noorse School het *Wiedererstehen der Fitz Roysen Grundsätze*.

Chromow heeft behalve zijn aandeel in de herontdekking van het werk van Fitz Roy ook bijgedragen tot de introductie van de methoden van de Noorse School



Figuur 4. Max Margules 1855-1920.



Figuur 5. Vilhelm Bjerknes (© Universität Leipzig).

buiten Noorwegen, door zijn samenwerking met Tor Bergeron. In de jaren 1930-1932 gaf Bergeron gedurende ruim een jaar colleges over de Noorse meteorologie in Moskou, in het Duits, niet aan studenten, maar aan 'senior-meteorologen' met voldoende kennis van de Duitse taal. Zijn kennis van de Russische taal was toen kennelijk nog niet groot, hoewel hij in het algemeen geen last had met taalbarrières, want Arnt Eliassen (1978) zegt hier over: *He could express himself in English, French, German and Scandinavian. In addition he spoke Spanish, Italian and Russian quite well and also some Dutch, Czech, and Serbo-Croatian.*

De colleges werden door Vera Romanovskaya opgetekend en in het Russisch vertaald en uitgegeven. Zij werden de grondslag voor een leerboek in de Russische taal over de Noorse meteorologie van de hand van Chromow dat in 1934 verscheen. Van dit boek verscheen in 1940 een Duitstalige uitgave, bewerkt door de Tsjechische meteoroloog G. Swoboda, waar Bergeron intensief aan heeft meegewerkt. De waardering van de auteurs voor Fitz Roy wordt in dit boek niet onder stoelen of banken gestoken. Er wordt opgemerkt: *Mit verblüffender Klarheit wies er sowohl auf die Folgen dieser Wechselwirkung, [tussen de polaire en de tropische lucht] als auch auf die Ursachen dieser Wechselwirkungen, auf die zyklonale Tätigkeit hin.* Gezien het bovenstaande nemen we nu aan dat de Noorse meteorologen pas door het verblijf van Bergeron in Rusland van het werk van Fitz Roy op de hoogte zijn gekomen (figuur 6).

In Nederland blijkt uit het "Leerboek der Meteorologie" van W. Bleeker (1941) dat deze het KNMI-exemplaar van het Weather Book gelezen had. Hij merkte over Fitz Roy op: *Bij het zien van verscheidene passages uit zijn Weather Book vraagt men zich af hoeveel verder de meteorologie thans reeds zou zijn ontwikkeld indien de admiraal Fitz Roy meer inspirerend op de meteorologen van zijn tijd had gewerkt.*

Chromow, Bergeron en Bleeker tilden er kennelijk niet zwaar aan dat bij Fitz Roy de voor de Noorse School meteorologie zo belangrijke fronten nog ontbraken.

De biografen van Fitz Roy

Recentelijk verschenen enkele biografieën over Fitz Roy in boekvorm. J. en M. Griffin (2003) beschrijven zeer gedetailleerd de samenwerking van Fitz Roy met Darwin. Hun beschrijving van de meteorologische loopbaan van Fitz Roy is summier en geeft geen aanleiding tot opmerkingen. Anders is het gesteld met het boek van P. Halford (2004), dat in 2009 ook in Nederlandse vertaling verscheen. Dit boek is voor een groot deel aan de meteorologische loopbaan van Fitz Roy gewijd.

De analyse van de Royal Charter Storm wordt door Halford terecht in verband gebracht met de invoering van de Britse stormwaarschuwingsdienst, maar niet als voorloper van de meteorologie volgens de Noorse School, waaraan Fitz Roy zijn plaats in de geschiedenis van de meteorologie ontleent. De Noorse meteorologie komt bij Halford wel ter sprake, maar pas naar aanleiding van een bezoek aan Bergen in 1920 van de Britse meteorologen W.N. Shaw, G.K. Douglas en L.F. Richardson.

Tot slot

In het Verenigd Koninkrijk wordt de herinnering aan Fitz Roy levend gehouden door de geschiedenis van het Meteorological Department van de Board of Trade in te lijven in de geschiedenis van het Meteorological Office zodat niet R.H. Scott, maar Fitz Roy als eerste directeur van het Meteorological Office te boek staat. Voorts is de vroegere naam Finisterre van een district van de stormwaarschuwingsdienst veranderd in Fitz Roy.

De auteurs zijn dank verschuldigd aan Huug van den Dool en Fons Baede voor hun kritische opmerkingen bij het manuscript.

Literatuur

- Bergeron, T., 1928: Über die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse. Teil I. Geof. Publ. 5 no 6.
- Bergeron, T., 1959: Methods in Scientific Analysis and Forecasting. In: The Atmosphere and the Sea in motion. E. Bolin ed. Oxford Univ. Press.
- Bigelow, F.H., 1902: Studies on the states and kinematics of the atmosphere in the United States. M.Weath. Rev. 30.
- Bjerknes, V., 1904: Das Problem der Wettervorhersage betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. Met. Z. 21 1-7.
- Bjerknes, V., 1913: Die Meteorologie als exacte Wissenschaft. Braunschweig: J. Vieweg.
- Bjerknes, J., 1919: On the structure of moving cyclones. Geof. Publ. 1 no. 2.
- Bjerknes, J. en H. Solberg, 1922: Life cycles of cyclones and polar front theory and theory of atmospheric circulation. Geof. Publ. 3 no. 1.
- Bleeker, W., 1941: Leerboek der Meteorologie Thieme, Zutphen.
- Chromow, S.P., 1933: Das meteorologische System des Admirals Fitz-Roy. Z. f. Angewandte Meteorologie 50, Heft 4 u. 5.
- Chromow, S.P., 1940: Einführung in die synoptische Wetteranalyse. Springer Wien.
- Dieckmann, A., 1931: Fitz-Roy, Ein Beitrag zur Geschichte der Polarfront-Theorie. Die Naturwissenschaften 19, 748-752.
- Dool, H. van den, 2010: Empirie en Theorie. Meteorologica 19 no 1.
- Eliassen, A., 1978: The Life and Science of Tor Bergeron. Bull. Am. Met. Soc. 49 no 4.
- Exner, F.M., 1921: Julius von Hann. Met. Z. 38 no 11.
- Fitz Roy, R., 1863: The Weather Book. London.
- Friedman, R.M., 1978: Appropriating the Weather. Cornell Univ. Press.
- Griffin, J. and M., 2004: Fitz Roy. Yale Univ Press.
- Guldberg, C. and H. Mohn, 1876-1880: Etudes sur les Mouvements de l'Atmosphère I, II. Oslo
- Halford, P., 2009: Stormsein. Hollandia Haarlem.
- Hann, J. von, 1901: Lehrbuch der Meteorologie. Tauchnitz Leipzig.
- Hildebrandson, H.H. and Teisserenc de Bort, 1900-1907: Les Bases de la Meteorologie Dynamique I, II. Paris.
- Kutzbach, G., 1979: The Thermal Theory of Cyclones, Lancaster Press.
- Margules, M., 1905: Über die Energie der Stürme. In: Anhang Jahrbuch 1903 der k.k. Zentralanstalt für Met. u. Geodyn. Wien
- Margules, M., 1906: Über Temperaturschichtung in stationär bewegter und in ruhender Luft. Met. Z. 23.
- Shaw, W.N. and R.G.K. Lempfert, 1906: The history of surface air currents. M.O. Memoir 174.
- Shaw, W.N., 1926: Manual of meteorology I.



Figuur 6. Tor Bergeron en mevr. Bergeron-Romanovskaya in 1969.

De Centraal Nederland Temperatuurreeks

GERARD VAN DER SCHRIER, AAD VAN ULDEN EN GEERT JAN VAN OLDENBORGH (KNMI)

De Centraal Nederland Temperatuurreeks (CNT) is een reeks van maandgemiddelde temperaturen van een aantal stations in Nederland opgebouwd uit gehomogeniseerde reeksen. In dit artikel doen we verslag van het homogeniseren van een aantal van deze reeksen en van de bouw van de CNT. Het blijkt dat de gemeten opwarming robuust is voor de verplaatsingen van stations en de veranderingen in meetmethodes en -systemen. Ook vergelijken we de CNT met de datasets die gebruikt worden om de globale temperatuur te schatten. De verschillen in trends lopen op tot 30% - wat de noodzaak om analyses te doen op basis van homogene data nog eens onderstreept.

Motivatie

Nederland kent een netwerk van stations dat al sinds het begin van de 20e eeuw in een redelijke dekking bestaat. Het is onvermijdelijk dat door verplaatsingen van stations, veranderingen van meetapparatuur of meetprocedures er breuken of discontinuïteiten in reeksen ontstaan. Voor de klimatologie, en in het bijzonder voor de kwantificering van klimaatverandering in Nederland, zijn deze breuken funest; zij zullen een trend in temperatuur kunstmatig verhogen of verlagen.

Binnen het (internationale) klimaatonderzoek wordt de uitvoer van klimaatmodellen gevalideerd met waarnemingen. Niet alleen een breuk in de reeksen zal de validatie in de wielen rijden, ook speelt mee dat een gebiedsgemiddelde (waaruit de uitvoer van modellen in feite bestaat) op essentiële punten iets anders is dan een puntwaarneming.

Deze overwegingen hebben er toe geleid

om maandgemiddelde temperaturen van een aantal stations te homogeniseren en op basis van een selectie van deze stations de Centraal Nederland Temperatuurreeks te bouwen.

Groei van het meetnetwerk in vogelvucht

De eerste Nederlandse temperatuurmetingen werden aan het eind van de 17e eeuw verricht. Vanaf 1706 zijn op verschillende locaties systematisch metingen gedaan die samengevoegd zijn tot een continue reeks door Labrijn (1945). Door de afwezigheid van standaardprocedures bij het meten, standaardinstrumenten en thermometerhutjes, is het lastig om deze lange reeks te homogeniseren.

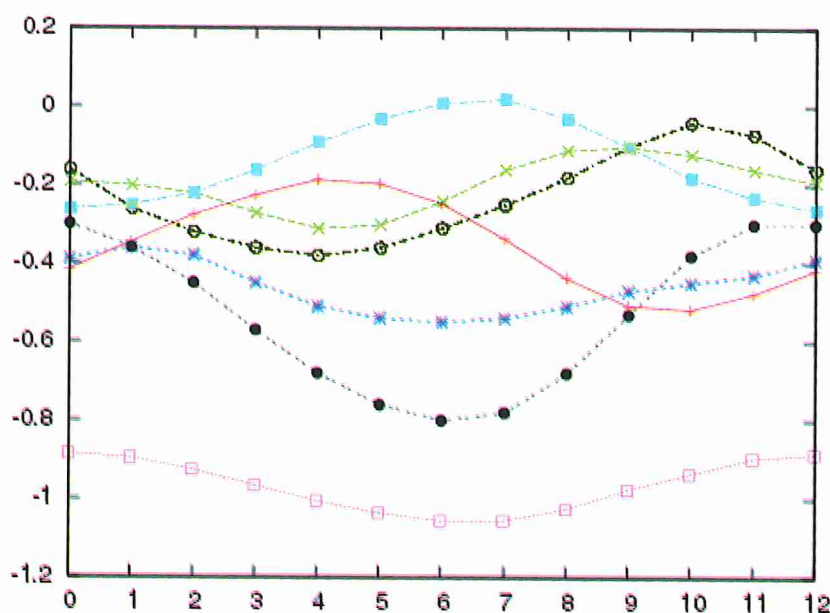
In 1906 is het klimatologische netwerk operationeel geworden in Nederland. Dit netwerk biedt wel de mogelijkheid voor de bouw van een continue en homogene temperatuurreeks; de meetprocedure was sterk gestandaardiseerd en een Stevenson

thermometerhut werd gebruikt op bijna alle stations. De uitzondering is De Bilt, waar pas op 17 mei 1950 de Stevensonhut de grote 'Pagode' verving. Dit was een grote open hut met een puntdak, waarin een thermograaf op 2.2 m hoogte stond (figuur 1).

Op de hoofdstations werden uurlijkse metingen gedaan, op de zogenaamde secundaire stations van het klimatologische netwerk werden driemaal daags metingen gedaan. Daarnaast werden de dagelijkse minimum- en maximumtemperatuur afgelezen. Rond 1950 werd een nieuw synoptisch netwerk in gebruik genomen. Dit netwerk werd in de lucht gehouden voor de weersverwachting binnen het KNMI, terwijl, parallel aan dit netwerk, het klimatologische netwerk metingen verrichtte voor de Klimatologische Dienst van het KNMI. Deze situatie bleef bestaan tot rond 1990 toen de twee netwerken geïntegreerd werden tot één volledig geautomatiseerd waarnemings-



Figuur 1. Foto van de Pagode met in de nok van het dak de thermograaf. De foto is genomen op het moment van aflezen van thermograaf. Het is geen verrassing dat met deze opstelling de temperatuur onder de kap flink op kon lopen – wat wellicht verklaart waarom de hoogste temperatuur ooit gemeten in De Bilt in 1947 valt. Naast de Pagode staat een Stevensonhut. De hoogte van de thermometer in die hut was 2.20 m, vandaar het trapje voor de Stevensonhut. Merk op dat het meetveldje destijds niet bepaald aan de huidige WMO normen voldeed.



Figuur 2. Additieve aanpassingsfactoren [°C] die gebruikt worden om temperatuurreeksen van operationele stations te "blenden" met die van afgesloten stations. Horizontaal is de maand uitgezet, waarbij 0 en 12 voor december staan, 1 voor januari etc. (rood=Den Helder/De Kooy, lichtgroen=Gemert/Volkel, blauw=Groningen/Eelde, roze=Maastricht/Beek, magenta=Oudenbosch/Gilze Rijen, donkergroen=Winterswijk/Hupsel, zwart=Sittard/Beek).

netwerk.

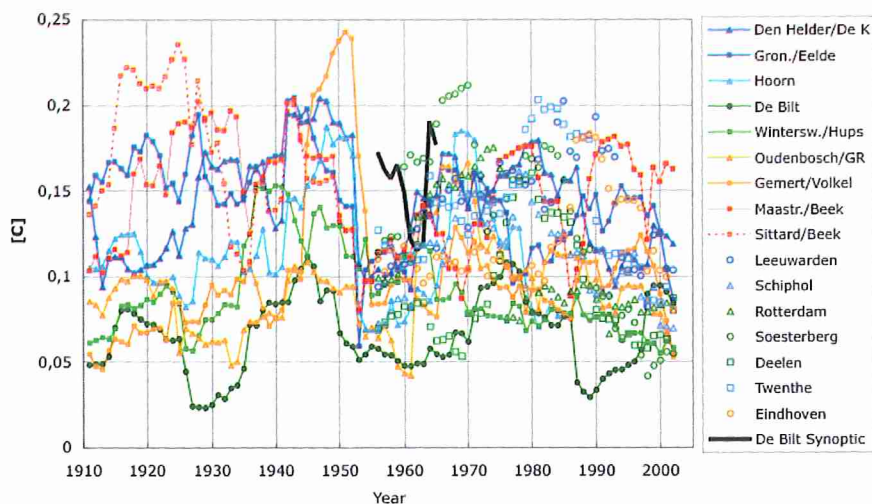
Op basis van gehomogeniseerde metingen van een aantal stations uit dit netwerk is een homogene reeks van maandgemiddelde dagtemperaturen samengesteld. Waar lange continue reeksen bestonden zijn deze gebruikt, anders is een reeks samengesteld op basis van metingen van naburige operationele en afgesloten stations.

De bouw van lange continue reeksen

Op de secundaire stations van het klimatologische netwerk werd de minimum- en maximumtemperatuur tussen 19:00-19:00 en de temperatuur op 08:00, 14:00 en 19:00 lokale tijd gemeten. Gebaseerd op deze vijf dagelijkse metingen heeft Van der Hoeven (1992) een nauwkeurige schatting van de dagelijks (0:00-0:00) gemiddelde temperatuur kunnen maken. Zijn elegante methode was een verdere verfijning van een methode die al in 1980 op het KNMI werd gebruikt en geeft, voor De Bilt, de daggemiddelde temperatuur tot op 0.006°C nauwkeurig. Voor Den Helder is de daggemiddelde temperatuur minder nauwkeurig geschat en valt zo'n 0.1 – 0.2°C lager uit dan de daggemiddelde temperatuur berekend met 24-uurs waarden. Waarschijnlijk is deze systematische afwijking te wijten aan een andere dagelijkse cyclus op dit kuststation dan in het binnenland.

Vanaf 1970 werden op de secundaire stations acht 3-uurlijkse metingen en de minimum- en maximumtemperatuur geregistreerd. Daggemiddelden zijn berekend door een eenvoudig rekenkundig gemiddelde van deze 10 metingen.

De vervanging van de Stevensonhut door de huidige schotelhutjes met de introduc-



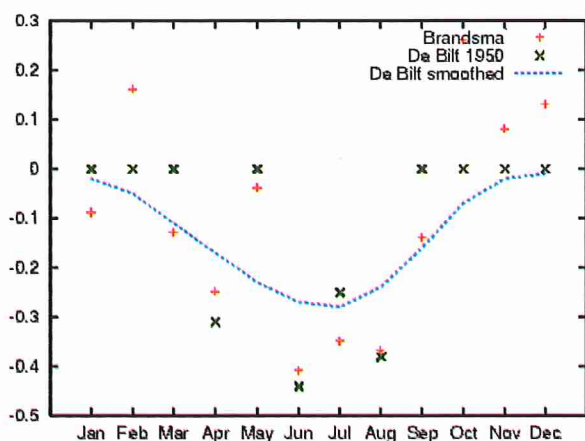
Figuur 3. Lopende standaarddeviaties over een venster/periode van 11 jaar voor de jaargemiddelden van de verschilreeksen. Het gemiddelde van alle station is gebruikt als referentiereeks.

tie van de Automatische Weer Stations (AWS), rond 1990, geeft een verwaarloosbaar klein effect op de maandgemiddelde dagtemperatuur (Brandsma & Van der Meulen, 2008). Deze auteurs hebben 9 hutjes, waaronder de 'gewone' en geventileerde Stevenson hut en een aantal andere geventileerde hutjes, met de schotelhutjes vergeleken die nu in gebruik zijn bij het KNMI op basis van een 6-jarig veld experiment.

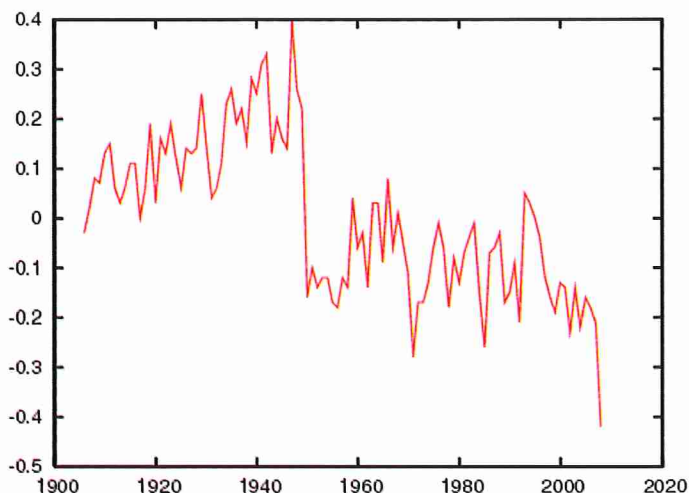
De meeste reeksen waren compleet, op een paar uitzonderingen na (Den Helder, Sittard, Winterswijk, Hoorn en Eindhoven). Ontbrekende maandgemiddelden zijn ingevuld met maandgemiddelden van naburige stations, waarbij een maandelijkse aanpassing is toegepast om voor klimatologische verschillen te compenseren. Alle reeksen zijn gecontroleerd op uitschieters, en alleen Eindhoven had deze. Vergeleken met een gemiddelde van Gemert/Volkel en Oudenbosch/Gilze Rijen, gaf Eindhoven in mei tot juli 1952 lagere temperaturen, tot wel 3°C. Uit de metadata blijkt dat vanaf 1 mei 1952

metingen werden gedaan door luchtmacht personeel in plaats van de Rijksluchtvaartdienst. Deze overgang verliep niet geheel vlekkeloos. De rapporten van de KNMI-inspecteurs uit het midden van de jaren '50 klagen over de hoge frequentie van foute metingen.

Acht lange reeksen die de periode 1906 tot heden beslaan zijn opgebouwd door bestaande reeksen in elkaar te schuiven. De oudere delen zijn aangepast aan de jongere delen door maandelijkse aanpassingen die berekend zijn over de periode dat beide delen elkaar overlappen. Deze aanpassingen zijn wat gladgestreken met een eenvoudig Gaussisch filter. Figuur 2 geeft de gefilterde aanpassingen. Wat opvalt is dat, voor alle maanden en voor alle reeksen, de afgesloten stations blijkbaar warmer waren dan lopende stations. Dit kan gerelateerd zijn aan het z.g. Urban Heat Island effect voor stations als Maastricht en Groningen waar in eerste instantie de metingen midden in de stad werden gedaan en later voortgezet werden op naburige vliegvelden.



Figuur 4. Breuken voor De Bilt voor de veranderingen in meetopstelling en locatie rond 1950. De amplitudes van de breuk zoals bepaald door Brandsma met een fysische methode zijn weergegeven in rood, de statistische benadering is in groen en de bijbehorende gefilterde curve in blauw [°C].



Figuur 5. Trends en breuken in de jaargemiddelde verschiltemperatuur tussen de Gemert/Volkel reeks en de referentiereeks [°C].



Figuur 6. Kaartje van Nederland met de stations waar de CNT op gebaseerd is. De rode plek is ruwweg het gebied omsloten door deze stations en waarvoor de CNT reeks representatief is. (bron: Bosatlas van het klimaat)

Voor Maastricht geldt natuurlijk ook dat vliegveld Beek minder beschut is en op grotere hoogte ligt.

De verplaatsing van de thermometerhutjes van de bebouwde kom naar vliegvelden zie je rond deze tijd door heel Europa gebeuren. Grappig aan deze gang van zaken is dat zij leidt tot een minder sterke toename van de temperatuur – als er niet gecorrigeerd wordt tenminste. Deze conclusie hoor je verbazend weinig uit de hoek van klimaatsceptici in de discussie over afwijkingen in de temperatuurmetingen.

Referentiereeks

Eén van de problemen van het bepalen van inhomogeniteiten in een reeks is dat deze methoden het best werken op een verschilreeks met een homogene reeks. De vraag is natuurlijk hoe je weet welke reeks homogeen is als je aan het begin van de analyse staat. Om dit

probleem te omzeilen hebben we een referentiereeks gebouwd op een alternatieve manier. Gebruikelijk is om een beperkt aantal reeksen van stations uit de nabijheid van de doelreeks te middelen en deze als homogeen te beschouwen. Hier nemen we alle beschikbare lange reeksen en bepalen, met een Principal Component Analysis, de meest dominante variaties in deze set van reeksen. De reeks die uit deze analyse komt is een gewogen gemiddelde van de lange reeksen die beschikbaar zijn in Nederland. Deze reeks heeft het opwarmings-sig-naal die de reeksen gemeen hebben net als de variaties in temperatuur door veranderingen in de grootschalige circulatie. Door de middeling van zoveel mogelijk reeksen worden de breuken in de reeksen zoveel mogelijk gedempt. De reeksen van De Bilt, Groningen/Eelde, Winterswijk/Hupsel, Maastricht/Beek, Volkel/Gemert, Oudenbosch/Gilze Rijen en Den Helder/De Kooy dragen bij aan de referentiereeks. Dit sluit de reeks van Vlissingen uit. Het station Vlissingen is erg vaak verplaatst en de reeks heeft veel gaten wat de reeks niet goed bruikbaar maakt.

Kwaliteitstest

Figuur 3 laat de lopende standaard deviaties van de jaargemiddelden van de verschilreeks zien, voor vensters van 11 jaar. De standaarddeviatie varieert aanzienlijk. Zo heeft Gemert een flinke piek rond 1950 die, zoals we zullen zien in de volgende sectie, verband houdt met een flinke breuk rond dat jaar. De Bilt heeft een vrij lage standaard deviatie met een piek in de jaren '40 en eentje in de 70'er jaren. Voor De Bilt zijn voor de tweede periode twee reeksen beschikbaar, eentje uit het klimatologische netwerk en eentje uit het synoptische netwerk. Uit figuur 3 blijkt dat de standaarddeviatie

van de synoptische reeks veel groter is dan de klimatologische, wat vertaalt in een groter ruisniveau in de synoptische reeks. De oorzaak van dit hoge ruisniveau is onduidelijk en de synoptische reeks wordt verder niet gebruikt in deze studie.

Soesterberg en Twenthe geven ook tamelijk hoge ruisniveaus, wat (in het geval van Soesterberg) verrassend is gezien de centrale ligging. De verwachting was dat de ruisniveau's van De Bilt en Soesterberg beide laag zouden zijn. Het is mogelijk dat de zandgrond van station Soesterberg bijdraagt aan het hoge ruisniveau. Een andere mogelijkheid is dat de militaire waarnemers toch minder zorgvuldig maten, iets dat in de wandelingen van het KNMI gefluisterd werd.

Wat ook opvalt aan figuur 3 is dat het ruisniveau van alle reeksen, behalve die van Beek, significant daalden na 1990 met de introductie van het geautomatiseerde netwerk.

Ontdekte breuken en trends

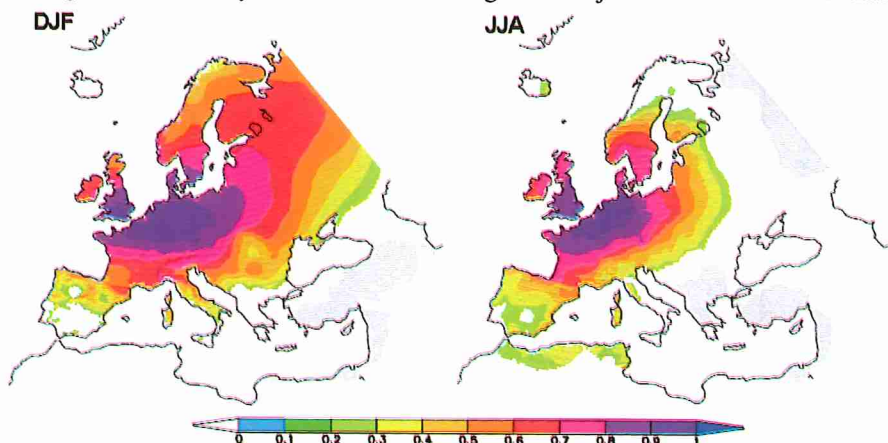
Een volledige bespreking van de breuken waarvoor gecorrigeerd is, is te vinden in de publicaties waarop dit artikel is gebaseerd (van Ulden et al. 2009, van der Schrier et al. 2011). Hier geven we alleen een beknopte bespreking van de resultaten van De Bilt en Gemert/Volkel.

De Bilt

De homogeniteitstesten geven breuken rond 1918-20, rond 1950, rond 1968-69 en bij 1976. Overtuigende metadata ontbreekt om de breuken rond 1918-20 en 1976 te verklaren. De metadata rond 1918-20 spreekt alleen van routinematige vervanging van thermometers. Door het gebrek aan metadata om de breuk te duiden wordt niet gecorrigeerd voor deze gedetecteerde breuk.

Dat is heel anders voor de breuk rond 1950, die duidelijk verwant is 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.

De breuk rond 1968-69 is waarschijnlijk gerelateerd aan het rooien van een deel van de boomgaard voor een parkeerplaats in de nabijheid van de opstelling. Dit vindt plaats aan het einde van maart 1967. Ook de bouw van het huidige gebouw B, die in november 1967 begon



Figuur 7. Correlaties tussen de jaar-op-jaar fluctuaties van de CNT v1.1 reeks en de E-OBS 3.0 temperatuur dataset (Haylock et al., 2008). Links is de correlatie voor het winterseizoen (DJF), rechts voor het zomerseizoen (JJA). De trend uit beide datasets is verwijderd door de jaar-op-jaar verschillen te beschouwen.

Break detectie

De methode die we hebben gebruikt om mogelijke discontinuïteiten te ontdekken in de lange reeksen is gebaseerd op de tweefasen regressietechniek van Lucie Vincent (1998). Eventuele sprongen in de tijdreeksen worden gedetecteerd op het verschil tussen de reeks en een (homogene) referentiereeks. Binnen lopende 40-jaar periodes worden vier verschillende modellen gefit aan deze verschilreeksen. Het eerste model bepaalt of de reeks (binnen het 40-jaar venster/periode) homogeen is of niet door een rechte lijn aan de verschilreeks te fitten. De nul-hypothese is dat de residuen van de fit onafhankelijk van elkaar zijn tegen de alternatieve hypothese dat de residuen onderling gecorreleerd zijn. De verschillende modellen die gebruikt worden staan expliciet uitgeschreven in dit kader. Het voldoet hier om te vermelden dat de modellen discontinuïteiten ontdekken ook al is er sprake van een trend in de verschilreeks. Als de trend van de verschilreeks een breuk kent, wordt de stap én de breuk in de trend gedetecteerd.

Als de reeks inhomogeen blijkt te zijn, wordt de grootte en de plaats van de breuk gelokaliseerd door een eenvoudig model

$$X_t = \begin{cases} \mu_1 + \varepsilon_t, 1 \leq t \leq c \\ \mu_2 + \varepsilon_t, c < t \leq n \end{cases} \quad (1)$$

Waarbij μ_1 en μ_2 de gemiddelde waarden van de reeks voor en achter de breuk zijn en ε_t witte ruis is met gemiddelde nul en vaste variantie en n is de lengte van de reeks. Het tijdstip c is de locatie van de breuk als μ_1 ongelijk is aan μ_2 . Een beetje ingewikkelder is het model met een constante trend:

$$X_t = \begin{cases} \mu_1 + \beta t + \varepsilon_t, 1 \leq t \leq c \\ \mu_2 + \beta t + \varepsilon_t, c < t \leq n \end{cases} \quad (2)$$

waarbij β de waarde van de trend is die voor en achter de breuk hetzelfde is. Het vierde model geeft ruimte aan de combinatie van een stap en een breuk in trend van de reeks:

$$X_t = \begin{cases} \mu_1 + \beta_1 t + \varepsilon_t, 1 \leq t \leq c \\ \mu_2 + \beta_2 t + \varepsilon_t, c < t \leq n \end{cases} \quad (3)$$

waarbij β_1 en β_2 de waarde van de trend is voor en achter de breuk. Voor elk model wordt de zogenaamde F-statistiek berekend. Op basis van de maximum waarde van deze F-statistiek wordt, door gebruik te maken van bestaande tabellen uit de literatuur, bepaald of de gedetecteerde breuk met minstens 95% betrouwbaarheid vastgesteld is. Daarbij geldt dat als de fit aan het model te slecht is, wat bepaald wordt met de zogenaamde Durbin-Watson statistiek, er wordt afgezien van het bepalen van de locatie en grootte van de breuk. Er is een hiërarchie in het toepassen van de bovenstaande modellen. Model (1) en (2) worden altijd toegepast als een reeks inhomogeen is. Model (3) wordt alleen toegepast als er een visuele bevestiging is dat de verschilreeks zowel een sprong als een breuk in de trend laat zien.

en op 2 januari 1969 het hoogste punt bereikte, zal invloed hebben gehad.

Na correctie voor de breuken van 1950 en 1968-69 is de aangepaste reeks opnieuw door de homogeniteitstest gehaald. Deze keer wordt de 1976 breuk ook opgemerkt, maar haalt het 95% significantieniveau niet.

Brandsma (KNMI) homogeniseerde de De Bilt temperatuur ook door gebruik te maken van een meer fysisch gebaseerde methode (in tegenstelling tot de statistische benadering die hier gebruikt wordt). Hij corrigeerde voor de vervanging van de Pagode voor de Stevenson hut, de verplaatsingen in 1950 en 1951, een verlaging van de Stevenson hut van 2.2 m naar 1.5 m die plaatsvond in juni 1961 en het vervangen van de kunstmatig geventileerde Stevenson hut met het huidige schotelhutje in juni 1993. Ten-

slotte corrigeerde Brandsma nog voor een kunstmatige opwarming van 0.11°C per 100 jaar door het stadseffect van het uitdijende Utrecht. De correctiefactoren van Brandsma voor de breuk in 1950 en de factoren gevonden in de huidige studie komen goed overeen (figuur 4). Het gebruik van een filter op aanpassingsfactoren voor de breuk in De Bilt die we toepassen, maakt dat onze aanpassing wat voorzichtiger is dan die van Brandsma. De aanpassing voor de breuk van 1968-69 en Brandsma's correctie voor het stadseffect zorgen ervoor dat de twee reeksen verschillen. De RMS van de jaargemiddelde verschilreeks is 0.1°C.

Gemert/Volkel

De homogeniteitstesten geven een flinke breuk en een discontinue trend rond

1950. De breuk en trend zijn duidelijk te herkennen in figuur 5, waar de verschilreeks van Gemert/Volkel met de referentiereeks (jaargemiddelden) geplot is. Deze breuk komt door het opnieuw inrichten van de meetlocatie op 27 september 1949. Inspecteurs hadden destijds al gewezen op het feit dat de locatie niet voldeed aan de gestelde eisen wat de omgeving betreft. De locatie bood teveel beschutting en dus onvoldoende ventilatie. De groei van de vegetatie bood in de loop van de tijd steeds meer beschutting, wat een kunstmatige (niet-klimaat gerelateerde) opwarming geeft in het eerste deel van de reeks. Ook stond de Stevenson hut niet op de juiste hoogte. Deze reeks is gecorrigeerd voor de breuk en de discontinue trend, waarbij de opwarming in het eerste deel van de reeks is verwijderd zodat het verschil met de referentiereeks geen trend meer ziet in de periode voor 1950.

De Centraal Nederland Temperatuurreeksen

De CNT is gebaseerd op een selectie van de gehomogeniseerde reeksen van maandgemiddelde daggemiddelde temperaturen. Deze reeksen zijn die van De Bilt, Winterswijk/Hupsel, Oudenbosch/Gilze Rijen en Gemert/Volkel. Vanaf 1951 wordt de reeks van Eindhoven toegevoegd en Deelen komt erbij vanaf 1958. De CNT is eenvoudigweg gedefinieerd als het gemiddelde van deze reeksen. De reeks is aangepast op maandbasis om te corrigeren voor de toename van 4 naar 5 en 6 reeksen. Deze aanpassingen zijn berekend over de 1961-2008 periode, gefilterd met een Gaussisch filter, en zijn klein (circa 0.01°C). De ligging van de stations wordt weergegeven in figuur 6.

De lange reeksen van Den Helder/De Kooy, Groningen/Eelde en Leeuwarden in het noorden en Maastricht/Beek en Sittard/Beek in het uiterste zuiden zijn niet aan de CNT toegevoegd omdat zij aan de rand van het land liggen en daarom minder representatief zijn voor het midden van Nederland. De belangrijkste reden om de reeksen van Schiphol en Rotterdam niet toe te voegen is dat deze stations tamelijk dicht bij zee liggen en de metingen beïnvloed kunnen zijn door de grote steden waar ze vlak bij liggen. Voor Schiphol zal de onstuimige ontwikkeling van de luchthaven zelf ook een invloed hebben op de temperatuur.

Andere lange reeksen in Nederland zijn gestopt (Hoorn, Soesterberg) of hebben teveel gaten (Vlissingen) om te kwali-

ficeren voor de CNT. De reeksen van Twenthe en Sittard worden als te ruizig gezien om mee te nemen in de CNT.

Aan de CNT wordt het versienummer 1.1 gehangen, om onderscheid te maken met de CNT1.0 die eerder door van Ulden et al. (2009) is gepubliceerd. Beide versies van de CNT zijn gebaseerd op dezelfde stations, het verschil zit in verschillende referentiereeksen (Aad van Ulden gebruikte een selectie van reeksen van naburige stations) en de statistische methode om breuken te herkennen. Hoewel veel gedetecteerde breuken en trends in de studies voor de CNT1.0 en CNT1.1 gelijk zijn, zijn er een paar verschillen. Deze verschillen dwongen ons om opnieuw het archief te bezoeken met de metadata, wat er in enkele gevallen toe geleid heeft het tijdstip van een breuk te herzien.

Hoewel de CNT gebaseerd is op reeksen uit een gebied met het zwaartepunt ruwweg in zuidoost Nederland, is de CNT representatief voor een groter gebied (figuur 7). Deze figuren laten een hoge correlatie zien voor winter (DJF) en zomer (JJA) gemiddelden van de CNT met corresponderende velden van de E-OBS dataset (Haylock et al. 2008) tot ver buiten het Nederlandse gebied.

Figuur 8 vergelijkt jaarlijks gemiddelde waarden van de CNT1.1 met reeksen die veel gebruikt worden om temperatuurverandering in Nederland te illustreren. Dit zijn de CNT1.0, de temperatuur in De Bilt uit de KNMI database en uit die van GHCN, en geïnterpoleerde data uit datasets die ook gebruikt worden om de globale temperatuur te schatten (CRUTEM3, NOAA/NCDC en NASA/GISS). Voor deze laatste datasets gebruiken we een geïnterpoleerde waarde voor het centrum van het gebied omsloten door de zes reeksen waaruit de CNT bestaat.

De meest in het oog springende verschillen met de CNT1.1 geeft de reeks van De Bilt uit de GHCN database (figuur 8d). Deze database wordt gebruikt om de geroosterde GISTEMP dataset te maken, die hetzelfde euvel heeft (figuur 8h). De GHCN reeks heeft een flinke breuk rond 1950 van circa 1.5°C. Deze inhomogeniteit is veroorzaakt door een combinatie van de factoren hierboven besproken en een verandering in meetmethode. Voor 1950 werden, naast de thermograaf, ook driemaal daagse temperatuur waarnemingen en minimum en maximum tem-

Aad van Ulden

De CNT is het laatste grote project van Aad van Ulden geweest. In juni 2007 stuurde hij ons een mailtje met een conceptrapport van 3 jaar eerder met een eerste opzet om een Centraal Nederland Temperatuur te definiëren. Hij vond (terecht) dat aan zo'n reeks grote behoefte was, niet alleen als maat voor de temperatuurverandering in Nederland maar ook om de uitvoer van klimaatmodellen op een zinvolle manier met waarnemingen te vergelijken. Op de Aad zo eigen wijze bleef hij er eindeloos aan schaven en vijlen. De publicatie van de Toestand van het Klimaat 2008 dwong ons er toe een eerste versie te publiceren (KNMI-WR-2009).

Na Aad's pensionering werd het werk voortgezet, hoewel hij actief mee bleef denken en vaak bijzonder nuttige informatie kon bijdragen. Over verloren gewaande data op de C: schijf van die en die PC, over bijzonderheden die inhomogeniteiten konden verklaren, over de statistische methodes en over de kwaliteit van de verschillende reeksen die we ter beschikking hadden, vaak met het dringende advies vooral die-en-die reeks te mijden. Uiteindelijk is het artikel dat de CNT v1.1 beschrijft (Clim. Past, 7, 527-542, 2011) nog twee weken voor zijn overlijden verschenen.

peratuur genoteerd. De KNMI De Bilt temperatuur is gebaseerd op de uurlijkse waarnemingen van de thermograaf. Aan internationale databases zoals GHCN werden alleen de driemaal daagse metingen gegeven, zonder de dagelijkse minimum- en maximumtemperaturen. Het daggemiddelde van voor 1950 in die databases is dan ook een gemiddelde van slechts drie metingen. In de versie van GISTEMP met een lagere ruimtelijke resolutie (1200 km vs. 250 km) is de inhomogeniteit minder duidelijk omdat veel meer stations bijdragen aan het gridbox gemiddelde in deze versie. Deze versie wordt gebruikt om de GISTEMP schatting van de wereldgemiddelde temperatuur te berekenen.

De CRUTEM3 geeft een inhomogeniteit rond 1951. Eerder werk van Aad van Ulden wijst uit dat dit waarschijnlijk komt door het gebruik van de gecombineerde Groningen/Eelde en Maastricht/Beek reeksen zonder correcties aan te brengen voor de herlocatie. De periodes waarin deze reeksen elkaar overlappen zijn respectievelijk 1946-1951 en 1946-1952. Ook de breuk in de De Bilt reeks zal bijdragen aan de inhomogeniteit van de CRUTEM3 reeks.

Tabel 1 geeft de waarden van de trends in temperatuur over 1906-2010 en 1975-2010 voor deze reeksen. Merk op dat de

verschillen in de trends groot zijn. Voor het tijdvak 1975-2010 loopt dit op tot wel 30%! De De Bilt temperatuur heeft een grotere trend dan de CNT1.1 over het tijdvak 1975-2010. Dit komt door de correctie voor de breuk rond 1968-1969. De GHCN reeks geeft helemaal geen trend over 1906-2010. Ondanks dat deze GHCN reeks in de GISS 250km dataset is gebruikt, geeft deze laatste dataset een trend die wel overeenkomt met die van de CNT. Dat komt door een "trend aanpassing" (Hansen et al. 2010) die gebruikt is in deze dataset; het juiste antwoord om de verkeerde reden zullen we maar zeggen.....

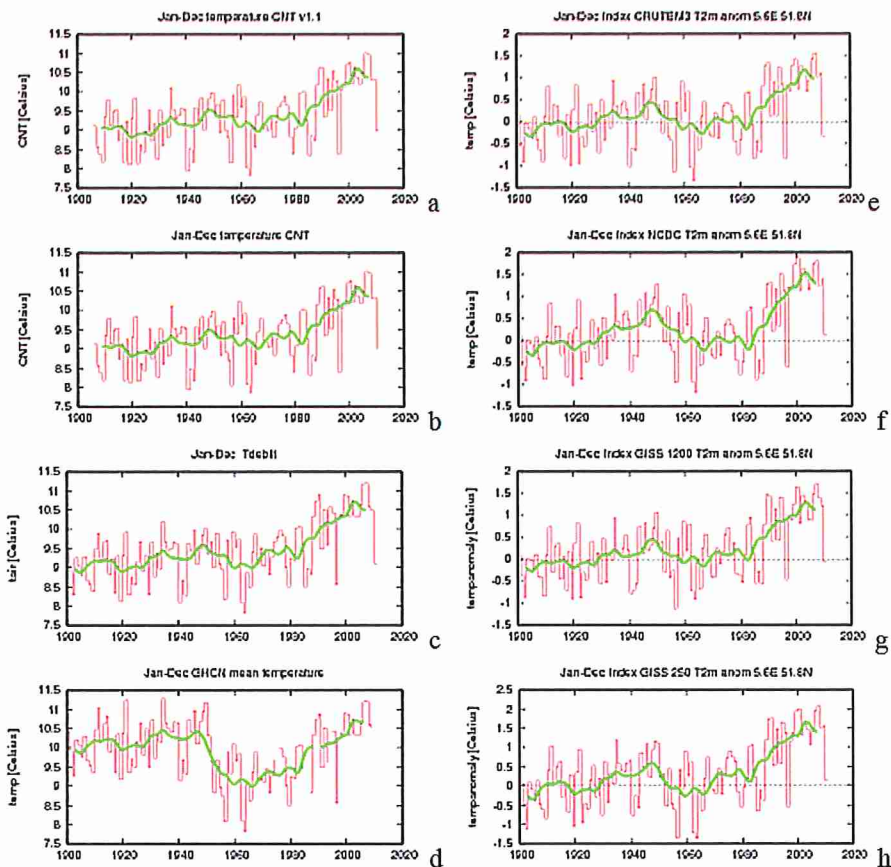
Tenslotte

Met de gehomogeniseerde reeksen van Nederland wordt een set van reeksen toegevoegd aan het groeiende aantal gehomogeniseerde reeksen die verschillende (Europese) instituten beschikbaar maken voor klimaatonderzoek. De CNT voegt daaraan toe dat er nu ook een reeks bestaat die representatiever is voor Nederland dan alleen De Bilt.

De CNT laat zien dat Nederland warmer wordt en bevestigt daarmee wat eerdere studies, op basis van niet-gehomogeniseerde data, al vast stelden. Dit resultaat geeft aan dat de opwarming in Nederland robuust is voor veranderingen in de meetlocaties en voor veranderingen in de meetprocedures en meetsystemen. Dit is

Tabel 1. Trends [°C/jaar] van de tijdreeksen in figuur 7 over de periodes 1906-2010 en 1975-2010.

	1906--2010	1975--2010
CNT v1.1	0.013 +/- 0.002	0.039 +/- 0.011
CNT v1.0	0.013 +/- 0.002	0.038 +/- 0.011
De Bilt KNMI	0.013 +/- 0.002	0.049 +/- 0.011
De Bilt GHCN v2	-0.001 +/- 0.003	0.049 +/- 0.011
CRUTEM3	0.009 +/- 0.002	0.036 +/- 0.010
NOAA/NCDC	0.010 +/- 0.002	0.052 +/- 0.011
NASA/GISS 1200 km	0.011 +/- 0.002	0.038 +/- 0.010
NASA/GISS 250 km	0.013 +/- 0.002	0.042 +/- 0.011



Figuur 8. Verschillende representaties van de temperatuur in Centraal Nederland. (a) CNT1.1, (b) CNT1.0, (c) waargenomen De Bilt temperatuur. (e-g) Het punt 51.8 N, 5.6 E geïnterpoleerd vanuit de land temperatuur datasets (e) CRUTEM3, (f) NOAA/NCDC, (g) NASA/GISS. Als referentie is de GHCN v2 reeks voor De Bilt (onaangepast) in (d) weergegeven. De temperatuur voor Centraal Nederland in de 250 km GISTEMP dataset is weergegeven in (h). De groene lijnen geven de 10-jaar lopende gemiddelden weer. Voor de CRUTEM3, NCDC en GISS datasets is het temperatuurverloop t.o.v. de klimatologische periode 1961/1990 gegeven.

een belangrijk resultaat. Het voorbehoud voor breuken in de reeks bij het vast stellen van de opwarming van Nederland is bij het gebruik van de CNT niet meer nodig.

Essentieel is dat de lange reeksen die gebruikt zijn homogeen blijven; de klimatologie is gebaat bij een zoveel mogelijk onveranderende omgeving. Als een verandering onvermijdelijk is, dan is het belangrijk om langere tijd parallel te

meten. Deze WMO aanbeveling is ook standaard binnen het KNMI en zorgt ervoor dat in de toekomst er geen gebruik meer gemaakt hoeft te worden van (blinde) statistiek om tot een homogene reeks te komen.

De auteurs willen Theo Brandsma (KNMI) bedanken voor het beschikbaar maken van zijn gehomogeniseerde reeks voor De Bilt (http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/homogeen_260/tg_hom_mnd260.txt). Jan Huizinga is dank verschuldigd voor zijn hulp bij het ontrafelen van de meta-data in de KNMI archieven.

Literatuur

- Brandsma, T. en J. van der Meulen (2008) Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) - Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes, *Intern. J. Climatology* 28, 389-400, doi:10.1002/joc.1524.
- Hansen J., R. Ruedy, M. Sato en K. Lo (2010) Global surface temperature change, *Rev. Geophys.* 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- Haylock, M. R., N. Hofstra, N., A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones en M. New (2008) A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006, *J. Geophys. Res. (Atmospheres)* 113: D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
- Labrijn (1945) The climate of the Netherlands during the last two and a half centuries. KNMI Mededelingen en Verhandelingen, KNMI No. 102.
- Van der Hoeven (1992) Etmaletemperatuur en Dagextremen uit Termijnwaarnemingen. Memorandum KD 92-08, KNMI.
- van der Schrier, G., A. van Ulden en G. J. van Oldenborgh (2011) The construction of a Central Netherlands Temperature, *Clim. Past* 7: 527-542, doi:10.5194/cp-7-527-2011. Beschikbaar via: www.clim-past.net/7/527/2011/.
- van Ulden, A., G. J. van Oldenborgh en G. van der Schrier (2009) The Construction of a Central Netherlands temperature, KNMI, VR 2009-03.
- Vincent, L. (1998) A Technique for the Identification of Inhomogeneities in Canadian Temperature Series, *J. Climate* 11, 1094-1104.

Mijn mooiste jaren

HUUG VAN DEN DOOL

Ik gooi een kwartje in de wens-vijver. Het muntstuk zakt glinsterend zigzaggend omlaag. Ik mag een wens doen. Geen idee wat er uit mijn hart opborrelt. Ik wou dat ik wou dat ik 15 jaar eerder geboren was. Merkwaardig! Ik ben in werkelijkheid in '47 geboren. Vijftien jaar eerder, dus in 1932, geboren worden betekent de crisisjaren meemaken als kleuter, de oorlog als machteloze teenager en in 2011 te oud zijn (of erger) om deze kolom nog te kunnen schrijven. Wie zou dat willen? Maar als ik al deze kleinigheden negeer, en louter redeneer vanuit de voorspelmeteorologie dan had ik heel graag de jaren waarin de beoefening van de Noorse School methode

zijn ambachtelijk hoogtepunt bereikte zelf professioneel meegemaakt. Dat had gekund als ik, 23 jaar oud, in 1955 op het KNMI zou zijn komen werken. Toen moet de synoptische meteorologie zijn hoogtepunt hebben bereikt. Niet dat iemand dat toen besepte, maar daar gaat het hier even niet om. Zelf plotten en analyseren met (een potlood in) de hand, je inleven in de synoptische situatie, de continuïteit ten opzichte van de vorige analyses waarborgen, je vergapen aan handanalyse van de bovenlucht (toen vrij nieuw), uit het raam kijken en de wolkenlucht integreren in het geheel, een prebratic maken volgens methoden waaraan ik zelf enkele jaren energiek

zou hebben bijgedragen, even wachten tot de volgende waarnemingen binnenkomen (het a-p-peeetje op Jan Mayen), en dan een verwachting de wereld in. Geen satellieten, geen computer, nauwelijks radar, nauwelijks automatisering, alles zelf doen, dat geeft de meeste voldoening.

Nadat ik mezelf in een paar jaar volledig uitgeleefd zou hebben op dit nu verdwenen vak, zou ik heel graag de eerste jaren van de numerieke modellen hebben meegemaakt. Dat had net gekund als ik in 1960 was omgezwaaid, en buiten Nederland, in de VS zeg maar, emplooi had gevonden. Het mooie aan de modellen uit de jaren 50 en 60 was dat alles nog ontdekt moest worden op het gebied van numerieke methoden. Niets is heerlijker dan te ontdekken en een pionier te zijn, vooral als het achteraf een succes blijkt. Men deed toen grote investeringen zon-

der 100% zeker te weten of men ooit zou slagen. Dat kon alleen door te vertrouwen op een rationeel idee, namelijk dat twee toestanden van de atmosfeer met elkaar verbonden kunnen worden via een trajectorie in een faseruimte die met kennis van de basisvergelijkingen van de natuur te berekenen is. Van beperkte voorspelbaarheid wisten we toen gelukkig weinig, dat hinderde dus niet bij de taxatie van de te verwachten vooruitgang als we er maar hard en lang genoeg aan werkten. Wat wel hinderde was dat er twijfel was of een en ander überhaupt mogelijk was. Kon een computer sneller werken dan de werkelijkheid, vooral als zou blijken dat alle details meegenomen zouden moeten worden? Dat je een probleem numeriek en fysisch mag "afbreken" (truncatie) spreekt helemaal niet vanzelf; we hebben ongelooflijk gezwind. Naast een gebrek aan waarnemingen en computerpower was zelfs het idee niet universeel geaccepteerd. Grote wetenschappers met invloed (Norbert Wiener op MIT) achtten het uitgesloten dat je op het gebied van voorspellen met numerieke methoden meer kon bereiken dan met lineaire statistiek gebaseerd op jarenlange waarnemingen. En de heren synoptici beschermden hun eigen vak uiteraard door te eisen dat modelverwachtingen beter moesten zijn dan hun eigen verwachtingen; dat zou nog vele jaren gaan duren.

Ik ga er maar even aan voorbij dat men mij, zo ik in 1932 was geboren, deze vreugdes mogelijk niet gegund zou hebben, U weet het: de wereld kan wel eens heel klein en kinderachtig zijn. Op het KNMI aangenomen worden, dat kan desnoods nog in die naoorlogse periode van grote groei, maar het duurde toentertijd vele jaren voor je geacht werd rijp te zijn om zelfstandig als meteoroloog te werken. En zelfs dan nog zou Postma achter me gestaan hebben met een potlood en gummetje in de aanslag, om mijn verondersteld gestoethaspel hinderlijk te corrigeren. In de numerieke weersverwachtingen zou Charney meteen voorzien hebben dat ik eigenlijk niet goed genoeg ben voor het al te abstracte en analytische. In de mythe van mijn mooiste jaren speelt dit geen rol, de wereld ligt voor me open zoals bij het fietsen op zondagochtend van 5 tot 10. Alle slechte mensen liggen in bed, de goede mensen zitten in de kerk, de wereld is van mij alleen.

De werkelijkheid verliep niet slecht maar wel anders. Om te beginnen wist ik van niets, en wenste voornamelijk dat ik mijn studie 'haalde'. Als student, 1965-1971, heb ik alleen nog een staartje

meegemaakt van de Noorse periode, voornamelijk omdat mijn opvoeders, Bleeker en Schmidt, niet zo jong meer waren en geheel doordrenkt van de ervaring van de Noorse School. Numerieke modellen waren rond 1970 min of meer toch wel geaccepteerd en de pioniersfase te boven. Ik was gewoon te laat! Vreemd genoeg heb ik over modellen als student weinig geleerd. (Bleeker was zelfs een bestrijder van het extreme belang dat aan behoud van vortciteit wordt toegekend; het ging hem om thermodynamica van luchtmassa's.) Misschien waren mijn opvoeders iets te oud en was NWP niet persoonlijk door hen ervaren. Niets van de boven geschetste mythe heb ik meegemaakt, alleen in de verte vermoed.

Toch heb ik zowel kansen gezocht als gehad. Het KNMI, zeker 10 jaar vertraagd, begon ongeveer in 1967 met numerieke modellen. Talentenjager Schmidt probeerde me al in '68 voor een parttime KNMI-baantje in dat werk te strikken. Ik heb dat afgehouden want ik had het gevoel dat ik mijn afstuderen in gevaar bracht; daarnaast vond ik de sfeer op het KNMI (de koloniale winden) toen onaantrekkelijk. Bovendien wist ik werkelijk niets met alleen een kandidaatsexamen dat een klein bijvak Geofysica bevatte. Wat me ook afschrikte, vreemd detail, was een opmerking van de drie jaar oudere IMOU student Lodewijk Heijboer die zich al wel had laten inhuren bij de Projectgroep numerieke methoden op het KNMI en bij wie ik op aandringen van Schmidt te rade ging. Volgens Lo kon het allemaal niet ingewikkeld genoeg zijn want als je het te eenvoudig maakt dan gelooft niemand je, of dan denken ze dat je je salaris niet waard bent. Hij had pagina's (en tijdens een seminar schoolborden) vol formules (b.v. discretisaties van advection in 4 dimensies) om zijn opmerking kracht bij te zetten. De essentie van wat hij deed was onzichtbaar voor student van den Dool. Ik wist weliswaar van niets, maar nam op mijn gevoel zonder aarzeling het besluit dat ik niet als student op het KNMI aan modellen ging werken.

Wel meldde ik me, geheel op eigen initiatief, als nakandidaat-vrijwilliger om in de weerkamer stage te lopen, gratis! Hoe ik ook aanhield, ik kwam er niet in. Hoogst merkwaardig. De weerkamer was een stressvolle omgeving waar blijkbaar geen minuut te verliezen was, zelfs niet voor een goed doel. Ik werd afgepoeierd in de richting van de meerdaagse en weekverwachting, en op voorspraak van Schuurmans draaide

ik mee in ploegjes met Zwart, Van de Geer, Reinten, van der Woude, Allan, van Raalte en Kleintjes die Bijvoet's FRT¹ methode deden met numerieke producten uit de VS voor 2 en 3 dagen vooruit. Dat gebeurde buiten de weerkamer, in het kantoor van dhr. Nap. Daar kon het geen kwaad als ik meedeed.

Ik ben qua afstudeeronderwerp afgedwaald in nogal neutrale "diagnostische studies", een soort Noorse school met een grote lik MIT (Victor Starr), dat wil zeggen systematisch en theoretisch fysisch: hoe zit het in een grote dataset van atmosferische analyses (toen niet meer dan een stapel hand-geanalyseerde weerkaarten van 10 of 20 jaar) met het behoud van impulsmoment, kinetische energie en dergelijke. Zo ben ik voornamelijk empiricus geworden. Pas 10 jaar later, bij een bezoek aan GFDL in 1978, begon ik me te generen omdat ik niets van modellen wist. Dat heb ik toen met geheel onverwachte hulp van Yoshio Kurihara en een daardoor geïnspireerde studie wat verholpen. Tot diep in de nacht werkte ik aan numerieke schema's voor zelfverzonnen problemen. Simpele problemen, geen triviale problemen. Het bleek heel erg leuk te zijn. Ik kon bijna alle in de literatuur vermelde numerieke en fysische instabiliteiten in een wipje checken en nadoen.

Op je 20e weet je echt niet hoe jij (en de wereld) in elkaar zit, en kijk je wanhopig naar een voorbeeld, zoals in mijn geval kortelings Lo Heijboer, waar het KNMI volgens Schmidt 'enorm mee in zijn schik was'. Mijn mentale instelling, zo heb ik later ontdekt, was er meer een van vereenvoudigen tot het niet verder kan, zonder de essentie te verliezen. Misschien was Lo een complicator, maar hij heeft zich in mijn ogen, 10 jaar later fors gerehabiliteerd toen hij, tot verrassing van bijna iedereen, met een gipsen model van een depressie in de colloquiumzaal verscheen. Tegenwoordig zit een model al gauw in een computer, maar ooit was een model een laboratoriumopstelling, een echt ding op schaal dat je op een tafel kon zetten, aanraken, bestuderen, aan- en uitzetten. Lo maakte een gipsen 3D depressie in een ultieme poging tot vereenvoudigen, begrijpen en nuttig zijn. Het inzicht van Lo, en de FRT methode van Bijvoet weerlegden trouwens de kritiek van Bleeker op het barotrope model. Kent men het stromingspatroon (mechanisch), dan is het temperatuurveld op gematigde breedte vanuit klimatologie heel snel 'opgeslingerd' en realistisch met fronten e.d., zodat gek genoeg, zelfs een barotroop model gebruikt kan worden om temperatuurverwachtingen te maken. Dat Bleeker daar

toch niet aan wilde!
Ik word wakker uit mijn mijmeringen.
Het kwartje heeft de bodem bereikt. Een
metalen computerstem roept uit het niets:
"Uw wens is ongeldig". "U mag alleen

iets over de toekomst wensen". "Het
verleden overdoen valt onder een andere
afdeling".

1) Dat is de Fictieve Relatieve Topografie
methode, in Meteorologica wel eens beschre-
ven door B. Zwart (juni 2000 nr)

Zoals de wind waait.... aan het eind van mijn loopbaan

GEERT GROEN (KNMI)

Eind 2011 ga ik met vervroegd pensioen na een KNMI-loopbaan van bijna 45 jaar. De laatste jaren ben ik sterk betrokken geweest bij toegepast windonderzoek, een onderzoeksgebied dat zo prachtig is verbeeld in figuur 1. In dit afscheidsartikel probeer ik een beeld te schetsen van mijn ervaringen met een aantal windonderzoeken met betrekking tot potentiële wind, ruwheidslengte en beschuttingsfactoren en de windkaart in de Bosatlas van het Klimaat 1981-2010. De onzekerheden van het windonderzoek waarbij ik betrokken was worden als mogelijke vragen voor mijn opvolger(s) neergezet.

Potentiële wind

Op de KNMI-website zijn reeksen potentiële wind beschikbaar [1]. Dit is de wind die gemeten zou zijn als de omgeving vrij van obstakels was. Prof. Jon Wieringa, de windautoriteit van Nederland en samen met Peter Rijkoort schrijver van "Windklimaat van Nederland" (Wieringa en Rijkoort, 1983) zegt er ongeveer het volgende over:

"Voor windmasten is zelden een terrein beschikbaar dat in alle richtingen storingsvrij is, dat wil zeggen zonder vegetatieve of gebouwde obstakels binnen een afstand van twaalf maal de obstakelhoogte. Een storingsvrije omgeving voor windmeting wordt wel aanbevolen door WMO en in de handboeken, maar is helaas beperkt beschikbaar (WMO 1996, KNMI 2006). Een methode voor de

correctie van windmetingen voor omgevingsstoringsvrij wordt gegeven door de ruwheidslengte (z_0) die een maat is voor de begroeiing en bebouwing van het terrein aan de windzijde van de mast. De ruwheidslengte kan worden bepaald uit de vlaggerigheid van de wind, dat is de verhouding tussen windstoot of standaarddeviatie en de gemiddelde wind (Wieringa, 1976). Uit de ruwheidslengte en de windmasthoogte wordt vervolgens een beschuttingscorrectiefactor (Exposure Correction Factor ECF) berekend. De gemeten windsnelheid moet met de ECF worden vermenigvuldigd om te weten welke windsnelheid op het station gemeten zou zijn als de omgeving ruwheidsvrij was. Deze gecorrigeerde windsnelheid heet potentiële wind en voldoet aan de WMO-norm. De meeste stations

staan in een inhomogene omgeving, en dan is de beschuttingscorrectie afhankelijk van de windrichting."

De methode van Wieringa (1986) is in het begin van deze eeuw verder uitgewerkt door Verkaik (2000, 2006) in het HYDRA-project [2] en in 2010 nog verder verfijnd door Wever en Groen (2009). In het midden van de jaren negentig heeft Benschop (1996) deze kennis ook gebruikt voor het bepalen van een hoogtecorrectie voor de gemiddelde wind en de windstoten op platforms ver boven 10 meter op zee. Later is deze correctie onterecht ook toegepast op enkele windmetingen boven standaardhoogte op land, inmiddels is dit in mei 2011 teruggedraaid.

De potentiële wind is dus te berekenen uit de vlaggerigheid van de gemeten wind en wordt weergegeven door de ruwheidslengte. De verhouding tussen de potentiële wind (U_p) en de gemeten wind (U_m) is de beschuttingscorrectiefactor (ECF):

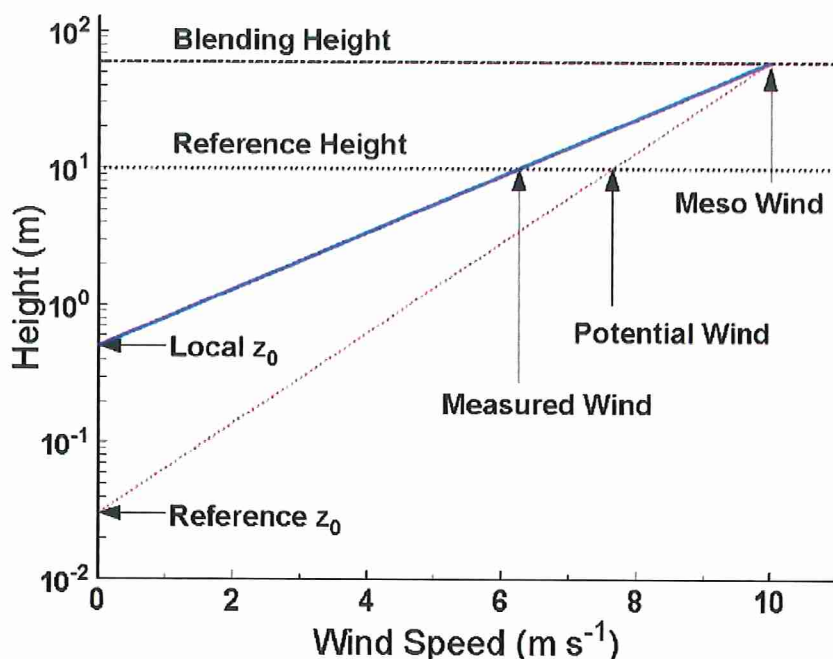
$$ECF = \frac{U_p}{U_m} = \frac{\ln(z_b/z_o) * \ln(z_r/z_{or})}{\ln(z_m/z_o) * \ln(z_b/z_{or})}$$

Hierbij is z_b de zogenaamde "blending height" (m), z_m de sensorhoogte (m), z_r de referentiehoogte (10 m), z_o de lokale ruwheidslengte en z_{or} de referentie ruwheidslengte.

In figuur 2 is te zien dat de ruwheidslengte de theoretische hoogte is waarop de windsnelheid bij een logaritmisches windprofiel 0 m/s wordt. De ECF wordt bepaald bij windsnelheden die de grenslaag voldoende mengen (op land bij windsnelheden boven 4 m/s). In de



Figuur 1. Houtsneede uit W. Scheidig, 1955. Het origineel dateert uit 1532.



Figuur 2. Het transformatieproces van gemeten wind met lokale ruwheidslengte naar potentiële wind met standaard ruwheidslengte onder neutrale condities.

dan heersende neutrale stabiliteitsopbouw kan de toename van de windsnelheid met de hoogte worden beschreven met een logaritmisch windprofiel. Eerst wordt de lokale ruwheid bepaald uit de vlaaganalyse. Dan wordt met de lokale ruwheidslengte en de gemeten windsnelheid (hier meethoogte van 10 meter) de zogenaamde mesowind bepaald op 60 meter. Op deze hoogte (de “blending height”) zijn de invloeden van lokale ruwheidskenmerken op de vlagerigheid van de wind niet meer merkbaar. Vervolgens wordt teruggekeerd naar het referentievlak (hier ook 10 meter) en naar een referentie ruwheidslengte van 3 cm (WMO-standaard boven grasland). ECF is dan de factor tussen de gemeten en de potentiële wind.

Windkaart

Voor de klimaatatlas 1981-2010 is een windkaart gemaakt uit stationsreeksen potentiële wind [1], zie figuur 3. Deze kaart is ontwikkeld met behulp van een twee-lagen model en met de reeksen potentiële wind en met ruwheidsinformatie uit kaarten van het landgebruik. De methode is ontwikkeld door Wieringa (1986) en in het HYDRA-project verfijnd door Job Verkaik [2] met behulp van landgebruikskarten. Verkaik heeft dit toegepast voor een windkaart op 100 meter hoogte voor windturbines [3].

Recent is deze methode door Stepek en Wijnant (2010) getest en toegepast voor de windkaart op 10 meter hoogte voor de klimaatperiode 1981-2010. Uit validatie blijkt dat de windkaart voor de

gemodelleerde plaatselijke windsnelheid een gemiddelde fout heeft die kleiner is dan 0.5 m/s. Dit is volgens Wieringa aanvaardbaar voor een atlas, waarin deze grootte wordt gegeven in klassen van 0.5 m/s en een pixelgrootte van 2 tot 3 km om recht te doen aan de bijbehorende onzekerheid.

Met deze windkaart is ook een wens van professor Wieringa om zijn werk uit de jaren tachtig toe te passen op windklimaat kaarten in vervulling gegaan en worden aanbevelingen voor verder onderzoek door hem gestimuleerd.

Beschuttingsfactoren uit twee vlaaganalyses

Bij onderzoek naar extreme wind voor waterveiligheid ontdekten Wever en Groen (2009) dat in de berekeningen van de ECF een overschatting zat in de winter bij noordwestelijke windrichtingen. Voor individuele stations liep die overschatting op van 15 tot 20%. Het bleek dat, ook bij windsnelheden boven 4 m/s, in de winter de stabiliteit een damping van de uurgemiddelde wind boven land kan veroorzaken (en daarmee vergroting van de ECF). Bij een NW aanvoerrichting is vaak sprake van advectie van polaire lucht van noordelijke breedte, waarin boven land door afkoeling de kans op (licht) stabiele opbouw in een uurvak toeneemt met daardoor meer damping van de gemiddelde wind. Toepassing van een kortere middelelingperiode (bijvoorbeeld 10 minuten) reduceert dit effect en gebruik van de standaarddeviatie van de windsnelheid

over die kortere periode geeft een betere correctie. We hebben die correctie vastgesteld en het blijkt dat de systematische overschatting van de ECF in de noordwestelijke richting beperkt wordt (figuur 4), hoewel het afwijkende signaal niet helemaal wordt gedempt.

Wever en Groen (2009) geven een beschrijving van de theorie over potentiële wind en details van deze correctie. In de nabije toekomst zullen door het KNMI reeksen potentiële wind met een correctie voor deze overschatting beschikbaar worden gesteld.

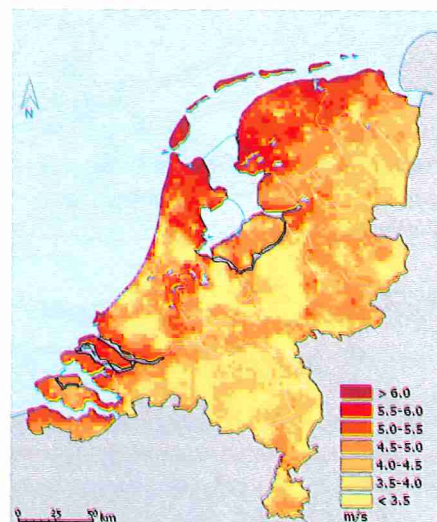
Profielonderzoek

Uit windsnelheden op meerdere niveaus ($z = m$ en $z = h$) is het ook mogelijk om de ruwheidslengte te berekenen met

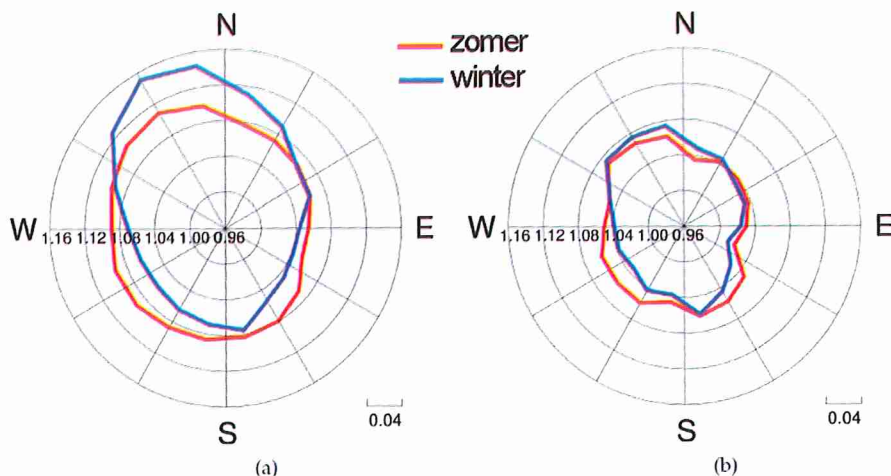
$$\frac{U_h}{U_m} = \frac{\ln(z_h/z_o)}{\ln(z_m/z_o)}$$

hierbij is U_x de windsnelheid op hoogte x ($x=h$ of $x=m$) en z_o de ruwheidslengte. Vanaf 2005 is data beschikbaar van een meteo-mast van het Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) met windmetingen op 21, 70 en 116 meter [4]. Het OWEZ is het eerste grote windpark dat in de Noordzee voor de Nederlandse kust is gebouwd. Het park ligt 10 tot 18 kilometer uit de kust en bestaat uit 36 windmolens met ieder een vermogen van 3 MW. Het park levert duurzame elektriciteit voor meer dan 100.000 huishoudens. Met deze data is de gemiddelde windsnelheid en trend bekeken en een aansluitend ruwheidsonderzoek uit windprofielen uitgevoerd.

Het gemiddelde van de maandgemiddelde windsnelheid op 21 meter is 8,1 m/s, op 70 meter 9,1 en op 116 meter 9,5 m/s in de periode juli 2005 tot december 2011. Vanaf 2005 is een niet-significan-



Figuur 3. De jaargemiddelde windsnelheid op 100 meter hoogte boven open terrein, klimaatperiode 1981-2010.



Figuur 4. Roosplots van gemiddelde beschutingscorrectie-factoren ECF voor alle landstations voor (a): 1 uur en (b): tien-minuten vlaaganalyse.

te licht dalende trend zichtbaar (figuur 5) vooral veroorzaakt door een rustige herfst in 2008. Voor windsnelheden boven 4 m/s op 21 meter hoogte blijkt de wind op 21 meter gemiddeld 88% te zijn t.o.v. de wind op 70 meter en 86% van de windsnelheid op 116 meter hoogte. Met formule (2) is hieruit af te leiden dat de gemiddelde ruwheidslengte 0,5 mm is, dit is verrassend laag. Het lopende gemiddelde varieert tussen ruim 40 cm en minder dan 0,01 mm. De gemiddelde ruwheidslengte is daarmee aanmerkelijk lager dan wordt aangenomen in het Hydra-project, 2 mm. De variatie van de ruwheidslengte zou het gevolg kunnen zijn van stabiliteit.

In figuur 6 wordt daarom voor de periode januari-maart 2006 de windsnelheids-verhouding weergegeven van de tien-minuut-gemiddelde windsnelheid op 70 en 21 meter hoogte, alsmede het lopende gemiddelde over 200 datapunten. De data zijn hier gerangschikt op verschil van zeewatertemperatuur en luchttemperatuur, dus van stabiel (links) naar onstabiel, het omslagpunt (neutraal) ligt ongeveer bij datapunt 3000. In stabiele situaties (zeewater kouder dan de temperatuur op 21 meter) is de variatie in de gemiddelde verhouding van de windsnelheden (en afgeleide ruwheidslengte) veel groter dan in onstabiele situaties. Figuur 6 toont dat de verhouding van de windsnelheden op 70 en 21 meter onder de meest stabiele omstandigheden tussen 1,1 en 1,8 ligt. In een niet getoonde case-studie van de storm van 18 januari 2007 trad een variatie tussen beide windsnelheden op binnen één uurvak van 0,97 tot 1,66 bij een temperatuurverschil tussen lucht en zee van 6,3 graden. Het is daarvoor lastig om potentiële wind te berekenen voor niet-neutrale omstandigheden. Bij deze analyse zijn uiteraard een hoop vragen te stellen, zoals de variatie in

hoogte door de variatie van het zeeoppervlak, de representativiteit van de temperatuur van de zee vier meter onder NAP, lijfeffecten langs de meteo-mast, etc. Desondanks geeft zo'n onderzoek een goede indruk van de mogelijkheden om onderzoek te doen naar beschutingsfactoren en ruwheidslengte boven water in aanvulling op dergelijk onderzoek boven land met de meetgegevens van Cabauw.

Toekomstvragen

Gaandeweg de diverse onderzoeken zijn er een aantal vragen opgedoken:

1. Kan een tweelagen-model de overgang van wind boven water naar wind boven land en vice-versa realistisch beschrijven?
2. Kan in de vlaaganalyse de rol van stabiliteit beter worden beantwoord?
3. Kan kennis van ruwheidslengte (beter) worden gebruikt voor hoogtercorrectie van windmetingen boven 10 meter?
4. Spelen variërend zeeoppervlak en windgedreven ruwheid een rol bij de bepaling van potentiële wind?
5. Wordt in numerieke modellen onder stabiele omstandigheden in voldoende mate een stabiliteitscorrectie voor wind toegepast in combinatie met de veranderende

rende ruwheid van het zeeoppervlak (nog even afgezien van het effect daarvan op golfopwekking)?

Voortgaand onderzoek op het gebied van fundamentele kennis van wind, windprofiel en ruwheid blijft gewenst en biedt voor de betrokken onderzoekers veel kansen om te publiceren.

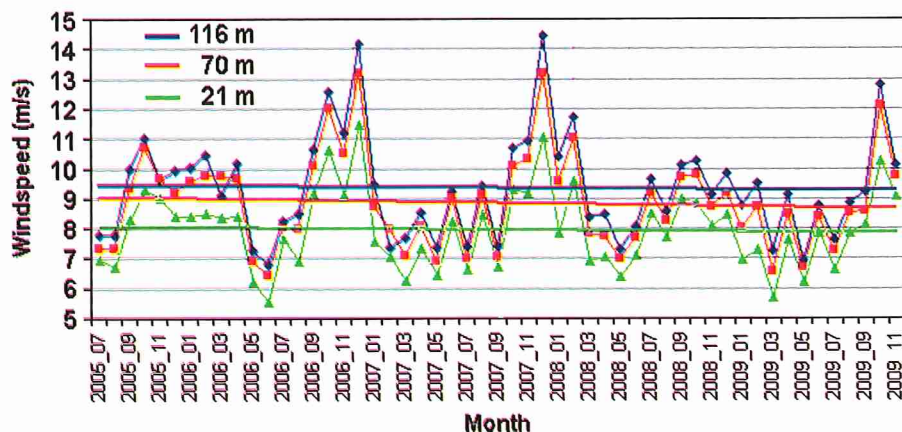
Tot besluit

Aan het eind van 2011 komt na 44,5 jaar een einde aan mijn actieve loopbaan bij het KNMI. Ik ben begonnen op 1 juli 1967 als rekenaar bij de Klimatologische Dienst.

In 1972 kwam ik met mijn afgeronde avond-HBS-B als luchtvaartvoorlichter op Meteo Schiphol. In 1978 werd ik hoofdmeteoroloog en later hoofd bij Meteo Rotterdam. In de jaren 1989-1995 heb ik leiding mogen geven aan Meteo Schiphol, daarna heb ik tien jaar gewerkt als guidance meteoroloog op de weerkamer in De Bilt. De laatste vijf jaar kreeg mijn langjarige operationele ervaring een grote verdieping als adviseur/onderzoek bij de afdeling Klimaatdata- en advies (KA). Mijn gemis aan academische opleiding werd gecompenseerd door een niet aflatende interesse in organisatie, wetenschap en toepassingen.

Vele onderwerpen hebben mij bij KA bezig gehouden: extreme neerslag, ijsvorming, bovenlucht klimatologie, gevoelsmeting, maar vooral potentiële wind en windextremen.

De samenwerking met vele collega's van KNMI, Waterdienst, Deltares, NVBM, weerproviders en gebruikers was erg fijn. Enkele mensen wil ik daarbij, zonder anderen tekort te willen doen, noemen: Arnout Feijt, Rob Sluiter, Jon Wieringa, Job Verkaik, Hans de Waal, Sofia Caires, Douwe Dillingh, Fred Bosveld, Peter Baas, Nander Wever, Robert Mureau, Henk van den Brink, Peter van Eecen, Andrew Stepek, Ine Wijnant,



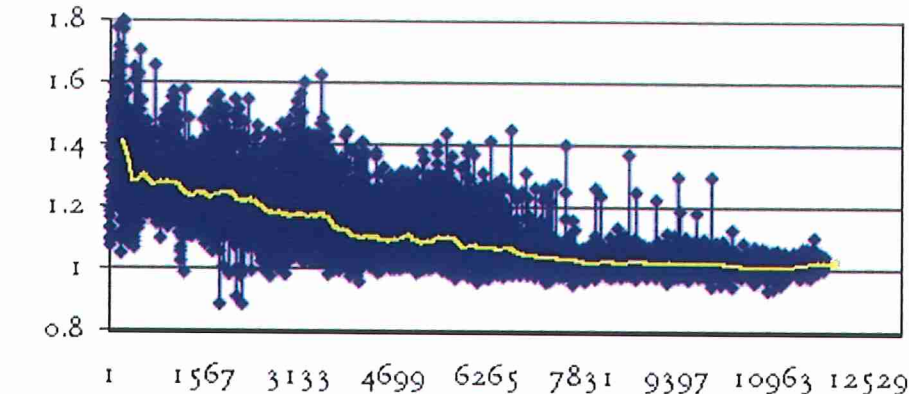
Figuur 5. Maandgemiddelde windsnelheid en lineaire trend op OWEZ-windmetingen van 21 meter, 70 meter en 116 meter hoogte in de periode juli 2005-december 2009.

Mieke Reijmerink, Henk van Oel, Engel Andriessen, Leo Kroon, Heleen ter Pelk-wijk, en vele, vele anderen.

Zoals de wind waait..... het ga u allen goed.

Literatuur

- Benschop H., 1996: Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations: herleiding waarden windsnelheid naar 10-meter niveau. KNMI-TR-188.
 KNMI, 2006: Handboek waarnemingen.
 Stepek A. en Wijntant, I., 2010: Windkaart 1981-2010, Rapport in opbouw.
 Verkaik J.W., 2000: Evaluation of two gustiness models for exposure correction calculations. J. Appl. Meteor. 39, 1613-1626.
 Verkaik J.W., 2006: On wind and roughness over land. Proefschrift Univ. Wageningen.
 Wever N., Groen G., 2009: Improving potential wind for extreme wind statistics. KNMI-WR-2009-02
 Wieringa J., 1976: An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 102, 241-253.
 Wieringa J., Rijkoort P.J., 1983: Windklimaat van Neder-



Figuur 6. Verhouding tussen OWEZ-windsnelheden van 70 en 21 meter hoogte, gerangschikt van stabiele naar onstabiele situaties. Simultane tien-minuten-data bij windsnelheden boven 4 m/s.

- land. Staatsuitgeverij, Den Haag, 263 pp.
 Wieringa J., 1986: Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 112, 867-889.
 WMO, 1996: References World Meteorological Organization Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No.8, 6th edition.

- [1] www.klimaatatlas.nl
 [2] www.knmi.nl/samenw/hydra
 [3] www.senternovem.nl/mmfiles/Windkaart%20van%20Nederland_tcm24-201743.pdf
 [4] www.noordzeewind.nl

De koudegolven van de toekomst

HYLKE DE VRIES (KNMI)

Klimaatstudies laten veelal zien dat in een globaal opwarmend klimaat de winters in Nederland ook aanzienlijk warmer zullen worden. Niet alleen gemiddeld zullen de winters warmer worden, strenge winters zullen ook minder vaak voorkomen. Over de precieze hoeveelheid opwarming verschillen de modellen onderling nog behoorlijk. In dit artikel bestuderen we klimaatmodelsimulaties op veranderingen van 'relatieve' kou.

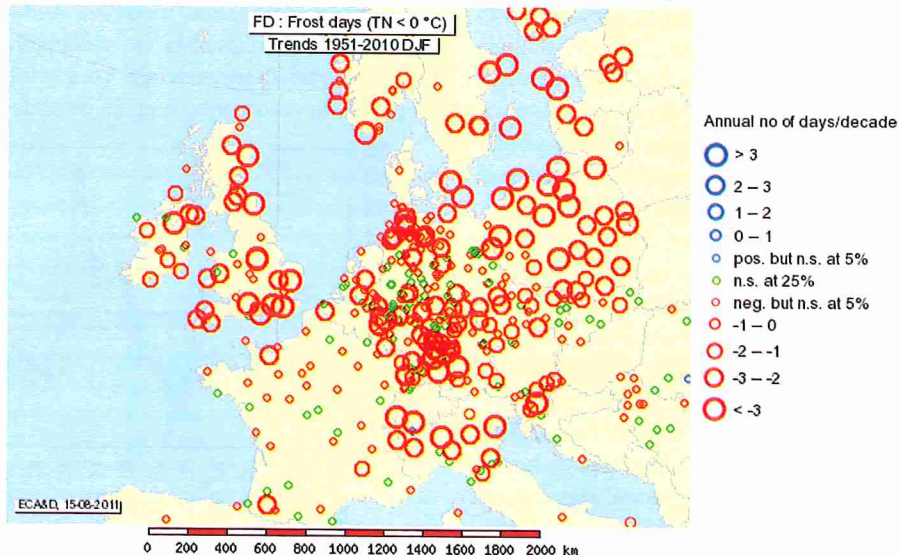
Kou is een relatief begrip. Wat voor de één reeds als herfst aanvoelt, ervaart een ander nog als zomer. In Rusland klaagt men niet als het in de winter -15°C wordt; hier in Nederland komt de maatschappij praktisch tot stilstand. De menselijke ervaring en beleving van kou hangt af van het klimaat waarin men leeft. Daarom zullen we ook in de toekomst koude periodes blijven beleven. Helaas voor de schaatsers onder ons: voor ijsvorming heeft men alleen wat aan 'absolute' kou. Bij +1°C, hoe waterkoud het ook aanvoelt, krijgen we geen ijs.

We hebben in de winter het aantal ijsdagen en koude dagen bijgehouden. Deze meten respectievelijk het aantal dagen dat de temperatuur de gehele dag of gemiddeld onder het vriespunt ligt. Het zogenaamde Hellmann getal is ook belangrijk. Dit is het getal dat je krijgt door de som van de gemiddelde etmaaltemperaturen onder nul bij elkaar op te tellen en het minteken weg te halen. Het Hellmann getal, dat in milde winters kleiner is dan 50, maar in zeer strenge winters kan oplopen tot 300, geeft een maat voor de totale hoeveelheid kou, of 'strengheid' van een winter [1]. Er zijn inmiddels vele waarnemingsstudies

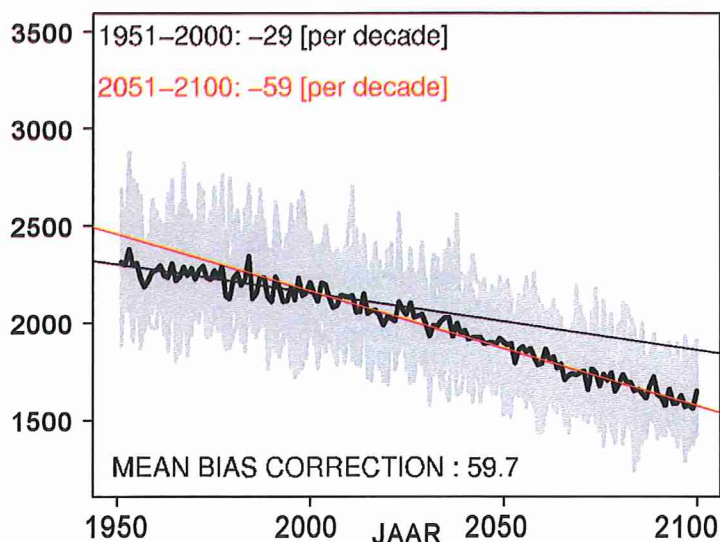
verschenen die laten zien dat er in deze getallen reeds enige tijd een dalende trend zit, en dat niet alleen voor Nederland. Als voorbeeld dient figuur 1 die is ontleend aan [2].

Ook modelsimulaties, waarin mogelijke toekomstscenario's worden gerealiseerd met behulp van geavanceerde klimaatmodellen, laten vrijwel unaniem verdere afnamen zien van deze getallen. Een voorbeeld: in een vrij recente simu-

latie met het klimaatmodel van het Max Planck Instituut in Hamburg, het zogenaamde Essence ensemble (Sterl et al., 2008; zie tevens kader), wordt een toekomstig klimaat gesimuleerd dat niet al te sterk opwarmt. Toch schetst dit model reeds een somber beeld voor de toekomst van de ijspretliefhebber: de koudste winters in de periode 2060-2100 zullen in Nederland niet kouder zijn dan de warmste winters uit de periode 1960-2000. Dit



Figuur 1. Lineaire trend in het aantal vorstdagen per decade (negatief betekent afname), berekend over de periode 1951-2010. Bron: eca.knmi.nl.



Figuur 2. Graaddagen (wintersom van 18-T, hier genomen over de maanden oktober tot en met maart) in Essance, berekend voor Nederland. Lineaire trends door de eerste en laatste 50 jaar van de door Essance beschreven periode zijn door middel van respectievelijk een zwarte en een rode lijn weergegeven. Een correctie heeft plaatsgevonden om het model klimaat beter bij de waarnemingen te laten passen. De grijze lijnen geven de individuele leden van het Essance ensemble weer, de zwarte lijn het ensemble-gemiddelde.

is geïllustreerd in figuur 2, waarin de zogenaamde graaddagen zijn berekend. Analooog aan het getal van Hellmann, worden graaddagen gedefinieerd als de som van 18-T over alle winterdagen (T = etmaalgemiddelde temperatuur). De 18 graden limiet komt vanuit de energiesector: dit is bij benadering de temperatuur waarop de kachels aan gaan.

Echter, de modelonzekerheid is nog groot. Sommige modellen geven een kleinere opwarming, andere een grotere. Dit maakt het moeilijk om precieze uitspraken te doen over de veranderingen die gaan plaatsvinden.

Relatieve kou

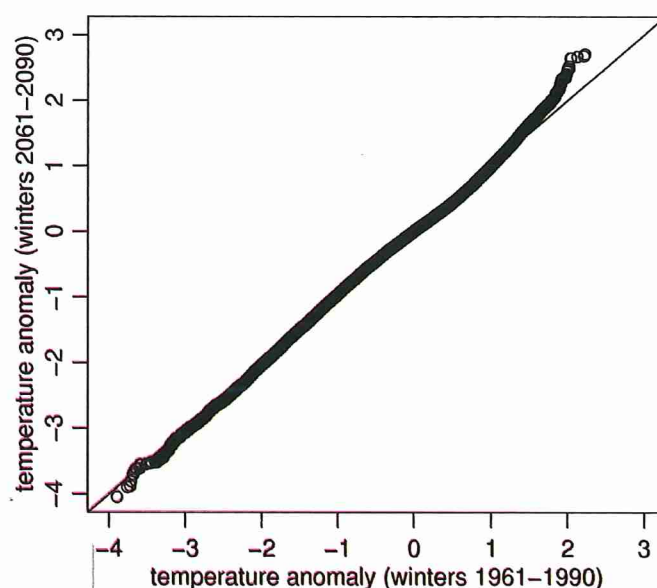
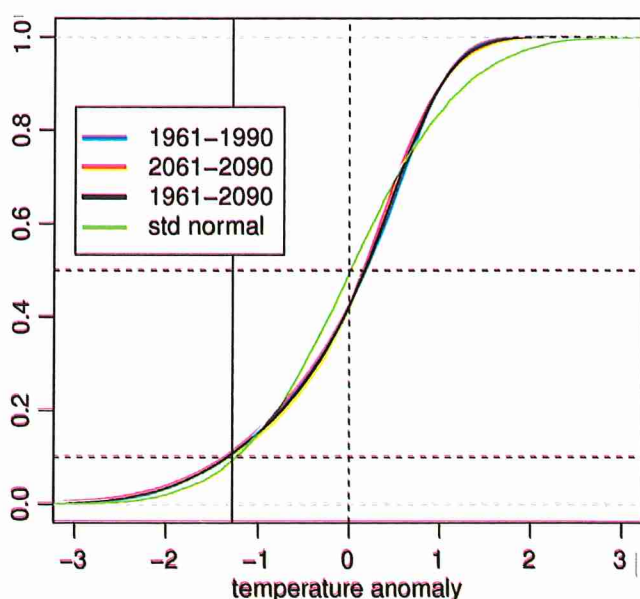
Maar dan terug naar het begin. Kou is een relatief begrip. De perceptie van kou hangt samen met het klimaat waarin wij leven. Hoe beschrijven klimaatmodellen 'relatieve' koudegolven? Met 'relatief' wordt hier bedoeld, relatief ten opzichte van het referentie temperatuurklimaat uit het betreffende klimaatmodel. Zo'n referentieklimaat kunnen we beschrijven met behulp van de waarschijnlijkheidsverdeling voor de temperatuur. De belangrijkste parameters van deze verdeling zijn de bekende begrippen gemiddelde μ en standaard afwijking σ . Een zogenaamde 'normale' verdeling ligt vast door deze twee parameters. Echter, de waargenomen (en gemodelleerde) waarschijnlijk-

heidsverdeling voor temperatuur is niet precies 'normaal'. In de winter blijkt dat deze verdeling een relatief lange linkerstaart heeft: extreem lage temperaturen komen relatief vaker voor dan extreem warme dagen. De oorzaak hiervoor kan gevonden worden in atmosferische circulatie anomalieën (zoals blokkades) die een asymmetrische temperatuurreactie hebben.

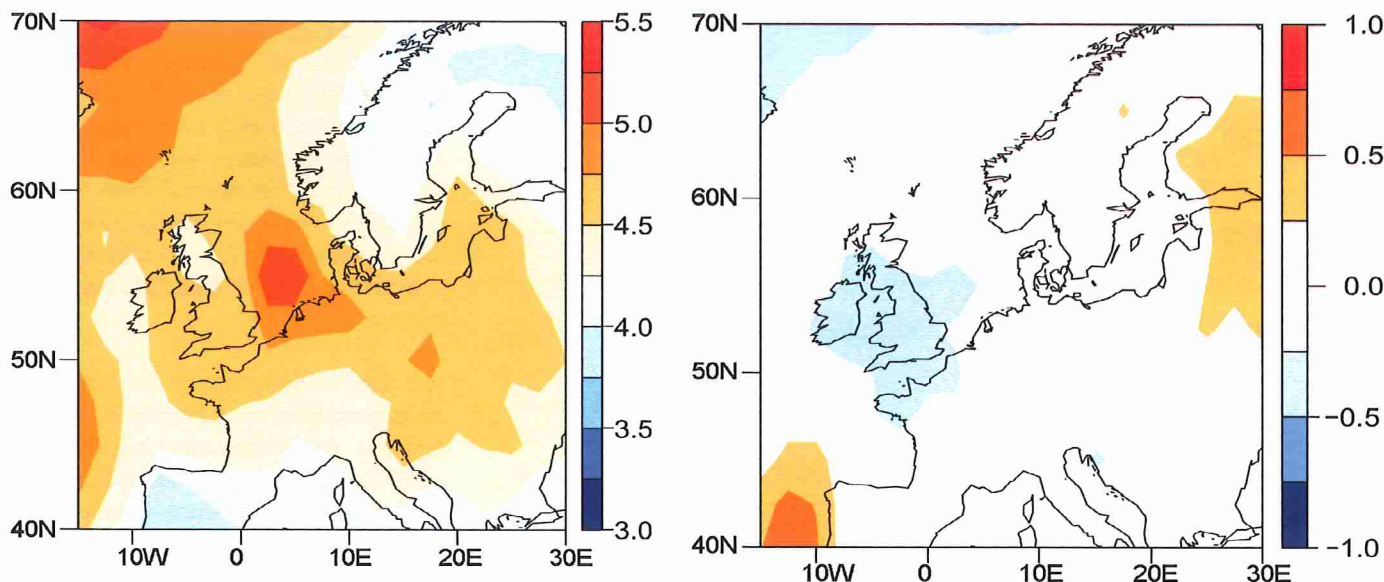
Het kan beargumenteerd worden dat μ en σ goeddeels onze perceptie van kou bepalen. We hebben allemaal een soort gevoel voor de gemiddelde temperatuur en de meest voorkomende variaties daaromheen. Het is daarom zinnig om een anomalie temperatuur (T') te definiëren

$$T'(x, t) := \frac{T(x, t) - \mu(x, t)}{\sigma(x, t)} \quad (1)$$

waarbij x de geografische positie en t de tijd is. Omdat we ons in een veranderend klimaat bevinden zullen μ en σ mee veranderen. We schrijven dus $\mu(t)$ en $\sigma(t)$, waarbij gekozen is om $\mu(t)$ en $\sigma(t)$ te bepalen als 21-jaars lopende wintergemiddelde waarden. Het zijn ook deze twee grootheden die in de klimaatmodellen de grootste veranderingen naar de toekomst laten zien. Het gemiddelde neemt toe, de standaard afwijking neemt af. De laatste afname is consistent met een substantiële afname van de gemiddelde oost-west temperatuurgradiënt (de zee warmt minder snel op dan het land), alsmede een lichte toename van de gemiddelde westcirculatie in de winter (de Vries et al., 2011) (zie tevens kader).



Figuur 3. (links) Empirische cumulatieve distributie functie voor Essance temperatuur anomalieën. Tevens wordt de normale cumulatieve distributie gegeven, die door (0,0.5) gaat. De verticale lijn markeert de positie $x = 1.2815$, het 10% niveau van de standaard normale verdeling. (rechts) Zogenaamde "quantile-quantile plot" waarbij de temperatuur anomalieën van de ene periode van Essance tegen die van de andere periode zijn uitgezet.



Figuur 4. Gemiddelde lengte van de koude periodes in Essence voor (links) winters 1961-1990 en (rechts) het verschil tussen de periode 2061-2090 en 1961-1990. Negatieve waarden betekenen een afname van de gemiddelde lengte. Als maat voor de bepaling van koude dagen diende vergelijking (2).

Nu terug naar de temperatuuranomalieën en de koudegolven. We definiëren het begrip 'koude dag' ('koudegolf' voor een opeenvolging van koude dagen) als een dag waarop de gemiddelde temperatuur niet hoger komt dan die behorend tot de koudste 10%, indien de temperatuurverdeling een normale verdeling zou zijn met gemiddelde $\mu(t)$ en standaard afwijking $\sigma(t)$. Deze aanpak geeft de mogelijkheid om extremen in heden en toekomst te vergelijken zonder de invloed van de (veranderende) extremen zelf. Er wordt hierbij aangenomen dat de extremen weinig invloed hebben op gemiddelde en standaardafwijking. In

een vergelijking betekent dit dat

$$T_{koud} := T' \leq -1.2815 \dots \quad (2)$$

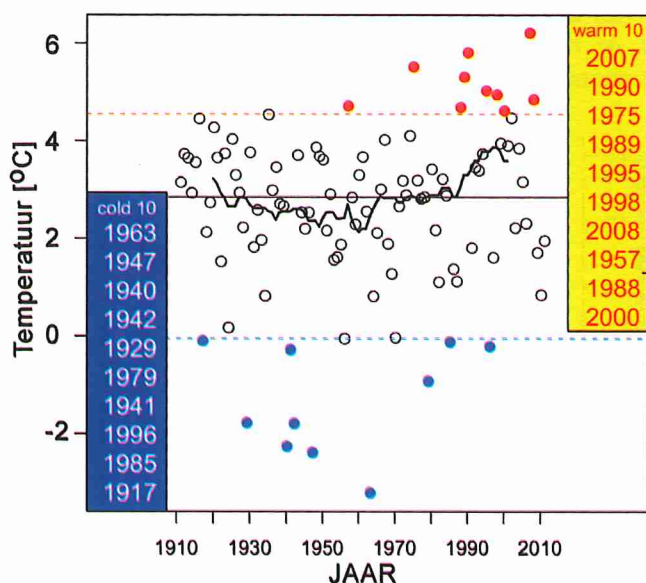
De factor 1.2815... in vergelijking (2) is nodig om precies op de 10% koudste uit te komen in geval van een normale verdeling.

Resultaten

De vraag die we hier bestuderen is of de verdeling van de temperatuur anomalieën en koude dagen, gedefinieerd volgens vergelijking 2, in de toekomst zullen veranderen. Voor het antwoord gebruiken we opnieuw de data van het Essence ensemble (zie kader).

anders zijn dan die van een normale verdeling. Zo is er de relatief overbevolkte koude kant ($x \leq -1$). Wat nog sterker opvalt is het systematisch ontbreken van extreem warme dagen waarbij $x > 0.75$, door de sterke invloed van zee.

Door de geordende temperatuur anomalieën van de ene periode tegen die van de andere uit te zetten, verkrijgen we een zogenaamde "quantile-quantile plot" (qqplot). Voor identieke verdelingen vallen de punten bij benadering op de lijn $y=x$. Figuur 3 (rechts) laat zien dat voor Essence de temperaturen over een groot gebied vrijwel hetzelfde verdeeld zijn.



Figuur 5. Gemiddelde winterwaarde voor CNT (Centraal Nederland Temperatuur, het gemiddelde van een aantal meetstations waaronder De Bilt, Winterswijk en Eindhoven. Voor meer details, zie elders in dit nummer). De horizontale lijnen geven het 10%, 50% (mediaan) en 90% niveau aan, berekend over de totale periode. Ook is de 20-jaars lopende mediaan weergegeven. De tabellen geven de top-10 koudste en warmste winters tussen 1911 en 2011. Data: bhlclim.knmi.nl.

Allereerst vergelijken we de empirische cumulatieve distributie functie (ecdf) voor verschillende perioden uit Essence (figuur 3 links). De ecdf geeft voor iedere x op de x -as de (empirisch bepaalde) kans dat de temperatuur lager is dan x (we delen simpelweg het aantal dagen waarop de temperatuur lager of gelijk aan x is door het totaal aantal dagen). Wat

direct opvalt is dat het weinig verschil maakt welke periode we nemen, de lijnen vallen vrijwel over elkaar heen. Ook duidelijk is dat de ecdfs

Als laatste berekenen we de gemiddelde duur van de koudegolven (een of meerdere koude dagen achter elkaar), waarbij we vergelijking (2) als definitie voor koude dagen hanteerden. De gemiddelde duur wordt bepaald door het totaal aantal koude dagen te delen door het totaal aantal koudegolven. Figuur 4 toont het resultaat voor de 1960-1999 periode van Essence als mede de geprojecteerde veranderingen in de toekomst. De gemiddelde lengte van een koudegolf varieert tussen 3 en 5 dagen. De geprojecteerde toekomstige veranderingen zijn erg klein. Voor grote delen van West en centraal Europa zijn de veranderingen kleiner dan 1/4 dag en mogelijk niet statistisch significant.

Conclusies

Wat vertellen de voorgaande resultaten ons? Ten eerste dat, althans volgens het Essence model hierboven beschreven, de statistiek van de koudegolven vrijwel niet wijzigt buiten een verandering van de klimaat parameters (gemiddelde en

standaard afwijking). De dynamica die aanleiding geeft tot temperaturen in de linker staart van de temperatuur verdeling lijkt vrijwel ongevoelig voor veranderingen van het klimaat. Na herschaling blijken de geteste statistische relaties geldig voor zowel huidig als toekomstig klimaat. Verdere analyse laat zien dat ook de terugkeertijden voor koudegolven van bepaalde lengte niet of nauwelijks veranderen, noch de distributie van eventlengtes. Ook andere klimaatmodellen lijken een dergelijke invariantie te in grote lijnen te reproduceren (in de Vries et al. (2011) bestuderen we onder andere ook een subset van de modellen die hebben bijgedragen aan het 4e IPCC rapport). Als dergelijke relaties ook geldig blijken voor de waarnemingen, betekent dit wellicht dat we meer over toekomstige kou kunnen leren door herschaling van huidige relaties. Als we de modellen vertrouwen, kunnen we ook een preciezere statistiek van koudegolven krijgen, door niet langer twee ver uit elkaar gelegen periodes op verschillen te bekijken, maar in plaats daarvan de gehele (anomalie) reeks te bestuderen.

De voorgaande conclusies nemen natuurlijk niet weg dat sneeuw- en ijspret in de toekomst minder zullen gaan worden, in ieder geval volgens de klimaatmodellen. Zoals al eerder gezegd hebben sneeuw en ijs niets te maken met relatieve kou, maar zijn zij gebonden aan vorst en temperaturen onder nul, een absolute maat voor kou. De waarnemingen lijken de trend die zichtbaar is in de modellen te ondersteunen (figuur 5). Als voorbeeld dient de recente winter van 2009-2010. Deze werd gekenmerkt door een zeer lange periode waarin de atmosferische circulatie zich in een geblokkeerde toestand bevond. Een groot deel van Nederland kende een langdurig sneeuwdek en 'vrijwel iedereen' ervoer de winter als een van de strengste van de eeuw. Desondanks komt de winter toch niet voor in de top tien van koudste winters van de afgelopen 100 jaar (figuur 5, winter 2009-2010 staat op plaats 16). Het was de strengste sinds 1996, het jaar van de laatst verreden Friese Elfstedentocht, een winter dus met een herhalingstijd van ongeveer 15 jaar. Niet exceptioneel dus in absolute zin. Wel in relatieve zin, want voor veel kinderen betekende dit de eerste ervaring met langdurige sneeuw sinds hun jeugd. Een klassiek voorbeeld dus waarbij de perceptie (=relatieve gevoel voor kou) niet goed overeen kwam met de 'absolute' werkelijkheid.

Het Essence ensemble

In het Essence project (Sterl et al., 2008) is met behulp van het klimaatmodel van het Max Planck Instituut in Hamburg (ECHAM MPI-OM) een reeks van 17 simulaties van het klimaat over de periode van 1950-2100 uitgevoerd. Voor de periode na 2000 (de toekomstprojecties) is hierbij gebruik gemaakt van een bepaald emissiescenario voor broeikasgassen (A1b). Dit emissie-scenario leidt tot een geleidelijke globale opwarming van enkele graden. Alle 17 leden van dit ensemble zijn gemaakt met hetzelfde model in dezelfde modelconfiguratie, alleen de begincondities zijn gevarieerd. Het chaotisch karakter van de atmosferische circulatie leidt ertoe dat de verschillende leden als onafhankelijke realisaties beschouwd kunnen worden.

Nawoord: de KNMI scenario's

Het KNMI heeft de afgelopen jaren diverse scenario's ontworpen voor de toekomst van het klimaat in Nederland (van den Hurk et al., 2006; Klein Tank en Lenderink, 2009). De volgende scenario's zullen verschijnen in 2013. Scenario's zijn consistente en plausibele projecties naar de toekomst. De twee parameters die de meeste invloed uitoefenen op het klimaat in Nederland zijn temperatuur en circulatie. Op basis van die twee parameters en het vlak dat ze opspannen in de mogelijkhedenruimte, zijn er 4 plausibele scenario's geformuleerd waarbij het klimaat enigszins (+1°C) of sterker (+2°C) opwarmt tot 2050, en waarbij wel of geen verandering in de circulatie optreedt. De resultaten voor het Essence model vallen onder de categorie substantieel warmer

(+1.5°C) met tevens een verandering van circulatie. De onzekerheid tussen de modellen wat betreft de toekomstige veranderingen van 'absolute' kou is nog erg groot. Deze onzekerheid komt voor een deel voort uit onzekerheden in toekomstige waarden voor de twee centrale momenten van de temperatuur distributiefunctie. Wat dat betreft lijkt er meer eensgezindheid binnen de modellen te zijn over de veranderingen van relatieve kou (de Vries et al., 2011).

Het onderzoek waarover hier gerapporteerd is, is mede mogelijk gemaakt door GasTerra en NAM.

Literatuur

- J. Cattiaux, R. Vautard, C. Cassou, P. Yiou, V. Masson-Delmotte, and F. Codron. Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate. *Geophys. Res. Lett.*, 37: L20704, 2010. 10.1029/2010GL044613.
- H. de Vries, R. J. Haarsma, and W. Hazeleger. Western European cold spells in current and future climate. *Geophys. Res. Lett.*, in review, 2011.
- B. van den Hurk, A. M. G. Klein Tank, G. Lenderink, and et al. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Technical report, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), 2006.
- A. M. G. Klein Tank and G. Lenderink. Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI '06 scenario's. Technical report, KNMI, De Bilt, 2009.
- A. Sterl, C. Severijns, and H. Dijkstra et al. When can we expect extremely high surface temperatures? *Geophys. Res. Lett.*, 35: L14703, 2008. 10.1029/2008GL034071.
- A. van Ulden, G. J. van Oldenborgh, and G. van der Schrier. The construction of a central Netherlands temperature. Technical Report WR 2009-03, KNMI, 2009.

[1] Meer informatie over het koudegetal van Hellmann kunt u vinden op <http://www.knmi.nl/cms/content/27255/koudegetal>.

[2] eca.knmi.nl

Standaardafwijking van de temperatuur

De instantane temperatuur wordt bepaald door lokale processen (straling e.d.) en transportprocessen. In de temperatuurbalans vergelijking (typische vorm met alle processen) is een belangrijke rol weggelegd voor temperatuuradvectie. Temperatuuradvectie is de temperatuurtoename die het gevolg is van lucht die ons bereikt (via de wind) maar die een andere temperatuur heeft. Als het in het oosten kouder is dan bij ons, dan zal het geleidelijk kouder worden als de wind uit het oosten waait. De modellen laten zien dat de horizontale temperatuurverschillen in de toekomst geleidelijk zullen afnemen (het land warmt sneller op dan de zee). Deze afname leidt direct tot een afname van de standaard afwijking van temperatuur. Voor een aantrekkende gemiddelde westcirculatie geldt een dergelijke redenering: met het toenemen van de westenwind zal de wind ook vaker van zee komen. De temperatuurverschillen boven zee zijn stukken kleiner dan die boven land, en dus zal ook bij toenemende westenwind de temperatuur standaard afwijking afnemen.

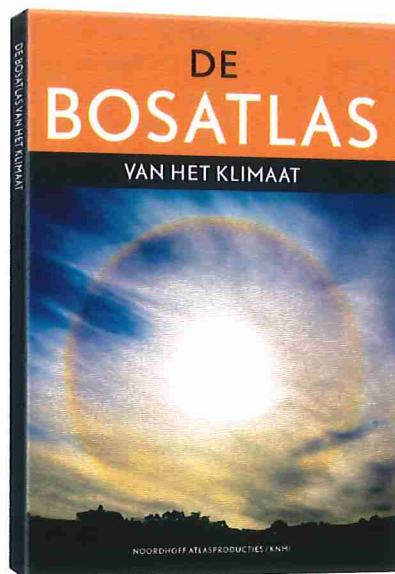
De meeste klimaatmodellen laten voor de toekomst een (lichte) toename zien van de gemiddelde sterkte van de westcirculatie. De afgelopen winters hebben echter overtuigend laten zien dat de (natuurlijke) variabiliteit van het klimaat systeem thans (nog) zo groot is dat lange perioden met oostenwind zeker nog tot de mogelijkheden behoren. Toch heeft de recente opwarming van Europa in zekere zin al zijn 'tol' geëist: de 2009-2010 winter was dan qua circulatie karakteristieken en persistentie wel te vergelijken met die van 1962-1963, maar kwam daar qua 'absolute' kou toch bij lange na niet bij in de buurt (Cattiaux et al., 2010).

Boekenactie

Bosatlas van het klimaat

In het kader van internationale afspraken maakt het KNMI periodiek een overzicht van de nationale klimaatgegevens. Voor de periode van de afgelopen dertig jaar (1981-2010) zijn deze gepubliceerd op www.klimaatatlas.nl.

Naast de website is in samenwerking met Noordhoff uitgevers een 'Bosatlas van het klimaat' ontwikkeld. De atlas bevat honderden kaarten, uitgevoerd in de herkenbare Bosatlasstijl, en voorzien van heldere toelichtingen. Maar De Bosatlas van het klimaat biedt meer. Tal van wetenswaardigheden komen aan de orde: meetmethoden, weerterminologie, weerrecords en 'het weer door de eeuwen heen'. Ook is een wolkenatlasje opgenomen, met een overzicht van soorten wolken, en een toelichting op wat wolken betekenen voor weer en weers-



verwachting. Speciale aandacht krijgt de invloed van het weer op natuur, mens en

economie. Voor ieder element wordt op basis van metingen het verloop in de tijd geschetst. In het hoofdstuk klimaatverandering worden de natuurlijke factoren behandeld die van invloed zijn op het klimaat en de rol van de mens. Tenslotte is er een hoofdstuk over de geschiedenis en het huidige takenpakket van het KNMI. De Bosatlas heeft als doel om een breed publiek te informeren over het Nederlandse klimaat en de veranderingen die daarin zijn gedecteerd. Om de brede doelgroep te kunnen bereiken zijn de auteurs tijdens het schrijfsproces bijgestaan door wetenschapsjournalisten en een didacticus.

Voor een korting van 7.50 euro: kassabon inscannen en met bank/gironummer opsturen naar penningmeester@nvbm.nl.

NVBM Mededelingen

Op vrijdag 4 november 2011 organiseerde de NVBM een symposium met als onderwerp "Kansverwachtingen in de praktijk". Sprekers van Meteogroup, KNMI, LMG en de NOS belichtten dit onderwerp vanuit diverse invalshoeken. Variërend van de wetenschappelijke kant tot de vraag 'hoe communiceer je kansverwachtingen naar het grote publiek?' passeerden de revue. In alle opzichten was de dag uitermate geslaagd, mede door de prima lunch en de borrel na afloop. De opkomst bedroeg ongeveer 50 personen en dat mag op een doordeweekse dag waarop de meeste leden verplichtingen bij hun werkgever hebben, goed genoemd worden. Het kan natuurlijk altijd beter en ik hoop dan ook dat middels mond op mond reclame zoveel mogelijk leden en niet-leden enthousiast worden gemaakt zodat een volgende activiteit nog beter bezocht wordt. De powerpoints van de lezingen zijn op de NVBM website te vinden.

Er werden 2 prijzen toegekend namelijk een prijs in de categorie Operationeel Meteorologen en een prijs in de categorie Onderzoekers.

In de categorie Operationeel Meteorologen zijn in totaal 3 mensen voorgedragen. De commissie heeft eenstemmig gekozen voor Kees Floor. Kees heeft een lange loopbaan als operationeel meteoroloog gehad bij het KNMI. Zowel voor als na zijn pensioen spant Kees zich voortdurend in om kennis van weer en klimaat uit te dragen voor diverse doelgroepen. Daarnaast heeft Kees altijd grote betrokkenheid getoond bij de opleiding van operationeel meteorologen. Artikelen van Kees verschenen in onder andere: de Volkskrant, de Gelderlander, NRC, De Journalist, Intermediair, Intermediair België, Meteorologica, Het Weer Magazine, Natuur(wetenschap) en Techniek,

AO-reeks en Zenit.

In de categorie Onderzoekers zijn in totaal 5 mensen voorgedragen. De commissie heeft eenstemmig gekozen voor Geert-Jan van Oldenborgh. Geert-Jan is zeer productief als onderzoeker en publicist bij het KNMI, waaronder meerdere artikelen in Meteorologica. Daarnaast is Geert-Jan de auteur en beheerder van de veel gebruikte "Climate Explorer" (zie <http://climexp.knmi.nl>). Ook is hij auteur van vele artikelen op het KNMI Kenniscentrum, toont hij een breed overzicht van het vakgebied en is hij altijd bereid te helpen bij vragen over het klimaat.

Daarnaast hebben we twee onderzoekers aanmoedigd, namelijk Geert Lenderink

(KNMI) en Gert-Jan Steeneveld (WU). Geert Lenderink valt op door het niveau van zijn publicaties en een baanbrekende recente studie over extreme neerslag. Gert-Jan Steeneveld heeft in korte tijd al veel gepubliceerd in de Meteorologie, hetgeen ook blijkt uit diverse prijzen waaronder de Casimir prijs van de KNAW en recente toekenning van een prestigieuze VENI beurs. Daarnaast is hij actief in de EMS en NBVM.



Normalen voor de dagelijkse minimum- en maximumtemperatuur

SEJO KRUIZINGA

Bij de verificatie van weersverwachtingen is kennis van de klimatologische eigenschappen van de grootheid die wordt geverifieerd niet strikt noodzakelijk maar wel van belang bij een verdere analyse van de resultaten. Zo is kennis van de jaarlijkse gang bij de verificatie van minimum- en maximum-temperatuur van belang voor de beoordeling of er extreme waarden in de gegevens aanwezig zijn. Bovendien kan de normaal als referentieverwachting dienst doen voor de beoordeling van de kwaliteit van de verwachting. Daarnaast is, bijvoorbeeld, ook kennis van de ruimtelijke samenhang essentieel bij de vergelijking van regio-verwachtingen en puntverwachtingen. In het kader van het verificatie onderzoek, waarover al eerder is gerapporteerd in dit blad, zijn daarom normalen voor minimum- en maximum-temperaturen ontwikkeld. Zowel voor specifieke locaties als voor het landelijk gemiddelde. Weliswaar publiceert het KNMI ook normalen maar die zijn gegeven als decade gemiddelden en daarbij treden soms grote sprongen op tussen de opeenvolgende decaden. Bovendien hebben die langjarig gemiddelden betrekking op het minimum en maximum per etmaal van 00-24 UTC. De normalen die hier worden beschreven hebben betrekking op het minimum en maximum zoals die in de verwachtingen worden gebruikt en zijn per kalenderdag berekend door een gladde curve aan te passen aan de gemiddelden per kalenderdag over de jaren 1981 tot en met 2010.

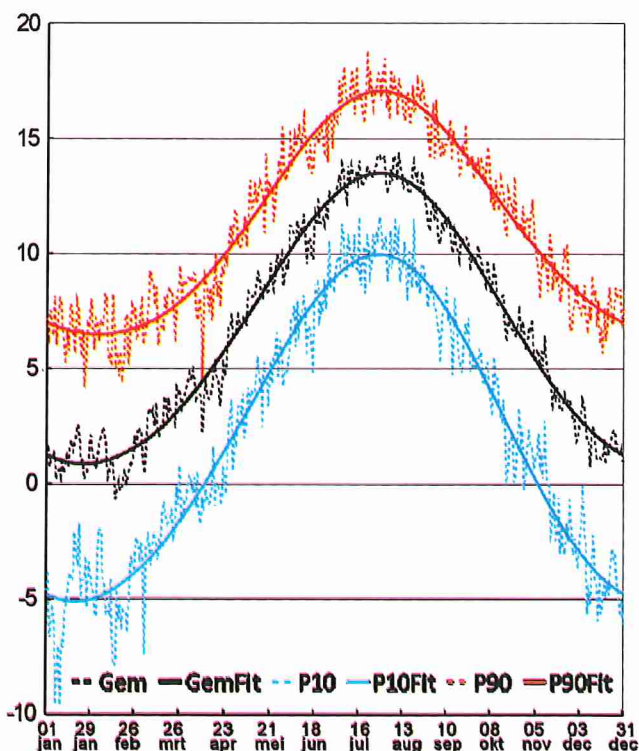
Definitie van de dagelijkse minimum- en maximumtemperatuur

Er zijn verschillende definities van deze begrippen in omloop. In KNMI-publicaties wordt meestal uitgegaan van de laagste en hoogste gemeten waarden van de temperatuur in het tijdvak 00 UTC tot 24 UTC als de minimum- en maximum-temperatuur van de dag. De langjarige gemiddelden die op de KNMI-pagina met meerdaagse verwachtingen worden gegeven zijn hier op gebaseerd. Bij de

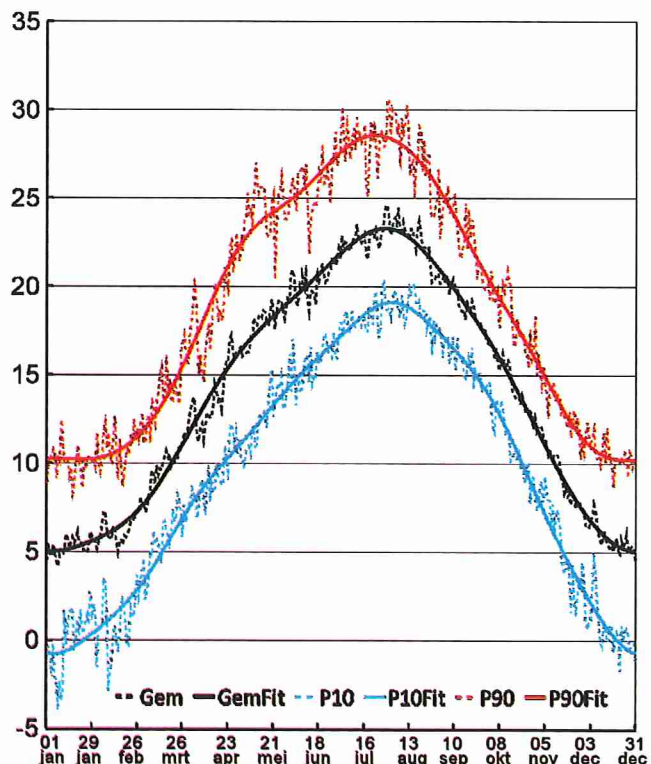
uitgifte van verwachtingen wordt echter meestal uitgegaan van een andere definitie. De minimum-temperatuur, verder aangeduid met T_n , is dan de laagste temperatuur die wordt geregistreerd in het tijdvak 18 UTC van de vorige dag tot 6 UTC van de dag in kwestie. De maximum-temperatuur, verder aangeduid met T_x , is de hoogste waarde tussen 6 UTC en 18 UTC. De rechtvaardiging voor deze definities is gelegen in het feit dat men in de verwachting de karakteristiek

van de nacht en de aansluitende dag wil vastleggen. Bij gebruik van de KNMI-definitie kan de minimum-temperatuur echter betrekking hebben op de volgende nacht in plaats van de voorafgaande.

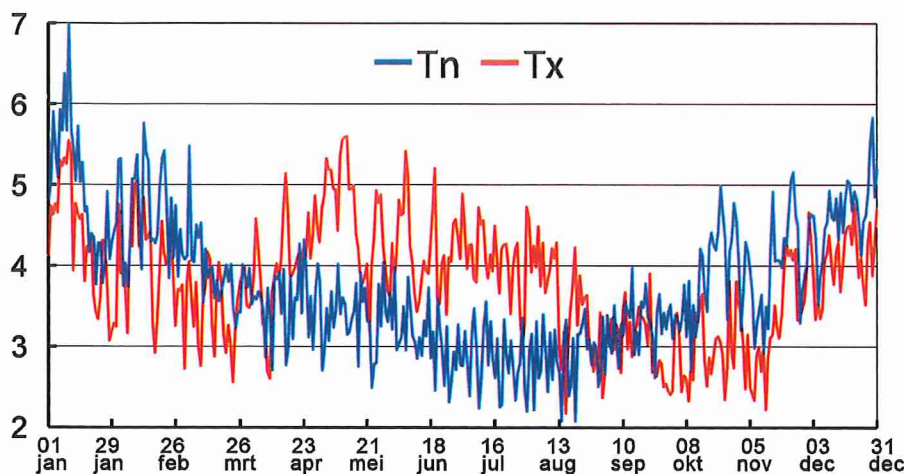
Wel zou men in deze tijd met automatische meetstations, met 10-minuut waarden, de grenzen van de tijdvakken, voor Nederland, anders gekozen hebben. In de winter is het niet ongebruikelijk dat de temperatuur na 06 UTC nog even daalt.



Figuur 1. Gemiddelde, 10% percentiel en 90% percentiel van de 30 T_n -waarden per kalenderdag in de periode 1981 t/m 2010 [$^{\circ}\text{C}$], de gestippelde lijnen. De doorgetrokken lijnen geven de overeenkomstige waarden van de aangepaste curve. De schrikeldagen zijn weggelaten.



Figuur 2. Idem voor T_x .



Figuur 3. Standaarddeviatie van de 30 Tn-waarden resp. Tx-waarden per kalenderdag [°C].

Maar deze grenzen stammen uit de tijd dat rapportage van waarnemingen om de zes uur gebruikelijk was waarbij om 18 UTC de maximum-temperatuur over de afgelopen 12 uur werd gemeld en om 6 UTC de minimum-temperatuur eveneens over de afgelopen 12 uur.

Berekening van Tn en Tx uit publieke KNMI-data

Deze studie is gebaseerd op de reeksen met waarnemingen die door het KNMI op internet vrijelijk beschikbaar worden gesteld. Helaas bevatten deze reeksen niet de Tn en Tx zoals hier gedefinieerd. Op de website van het KNMI worden wel dagelijks de actuele Tn en Tx gepubliceerd maar deze data zijn niet opgenomen in de hiervoor genoemde reeksen met waarnemingen. Om over een 30-jarige reeks van Tn en Tx te kunnen beschikken is een procedure ontwikkeld om deze Tn en Tx te schatten uit de wel beschikbare reeksen.

In deze reeksen zijn opgenomen:

- De temperatuur op de hele uren

- Het klimatologisch maximum
- Het uurvak waarin dat maximum is opgetreden
- Het klimatologisch minimum
- Het uurvak waarin dat minimum is opgetreden

De procedure voor het schatten van Tn en Tx werkt nu als volgt: Eerst worden Tn en Tx vastgesteld op basis van de uurlijkse waarden in de genoemde 12-uurs tijdvakken. Daarna wordt voor Tx nagegaan of het klimatologisch maximum in het tijdvak 6-18 UTC valt. Zo ja, dan wordt Tx vervangen door het klimatologisch maximum. Voor Tn wordt het minimum van volgende drie gegevens gebruikt: het minimum van de uurlijkse waarden, het klimatologisch minimum van de vorige dag als dat na 18 UTC is waargenomen en het klimatologisch minimum van deze dag als dat voor 6 UTC is waargenomen. Omdat bij de hiervoor genoemde verificatiestudie de dagelijkse Tn en Tx, van de internetpagina van het KNMI, zijn gearchiveerd beschikken we over een meerjarige reeks om de geschatte Tn en

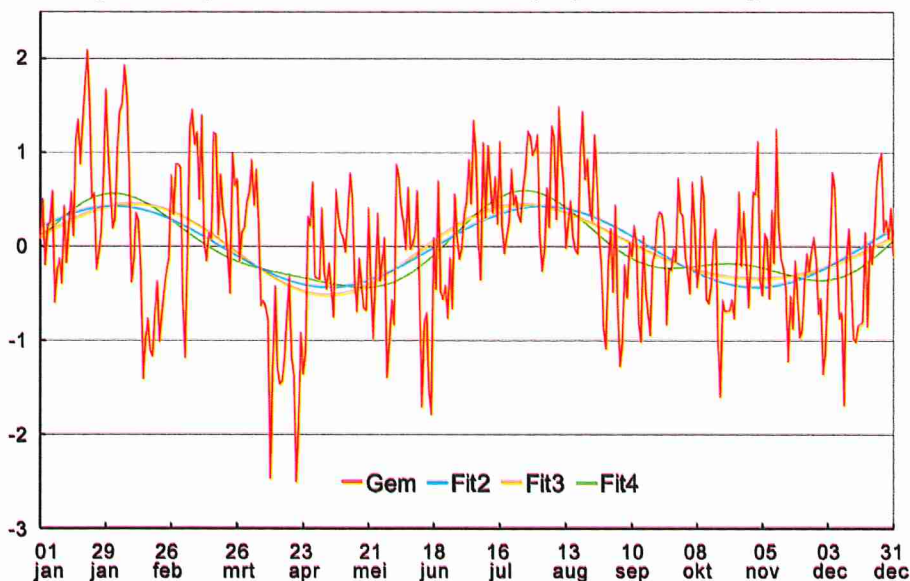
Tx te vergelijken met de waargenomen Tn en Tx. Over omstreeks 1650 dagen zijn, voor 5 locaties, het gemiddelde en de standaarddeviatie van de verschillen berekend. In tabel 1 zijn de resultaten vermeld. Uit deze tabel blijkt dat de waargenomen Tx gemiddeld ongeveer 0,02 °C hoger is en de waargenomen Tn ongeveer 0,1 °C lager. De standaarddeviaties van de verschillen zijn respectievelijk ongeveer 0,1 °C voor Tx en 0,2 °C voor Tn. De verschillen zijn dus meestal vrij klein. Toch komen zeer incidenteel verschillen tot 2 °C voor. De berekende Tn en Tx zijn dus geen exacte vervanging voor individuele gevallen maar kunnen wel gebruikt worden voor klimatologische studies. Verder werden deze geschatte Tn en Tx ook gebruikt om ontbrekende waarden in het archief van de verificatiestudie aan te vullen.

Berekening van de normalen

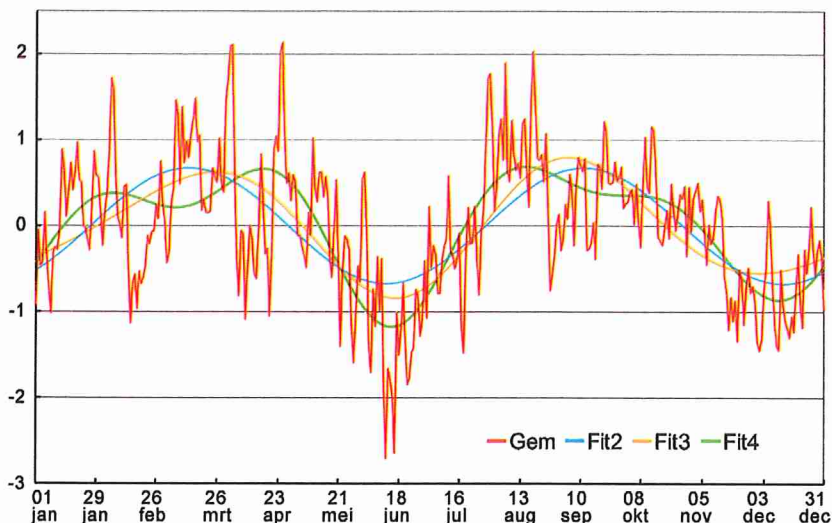
Met behulp van de hiervoor beschreven procedure zijn, voor een aantal locaties, tijdreeksen van Tn en Tx berekend voor de periode 1 januari 1981 t/m 31 december 2010. Op basis van deze 30 jaar zijn voor iedere kalenderdag (uitgezonderd 29 februari), per locatie, het daggemiddelde (de gestippelde zwarte lijnen in respectievelijk fig. 1 en 2) en de standaarddeviatie van Tn en Tx (fig. 3) berekend. Vervolgens wordt iedere reeks van gemiddelden benaderd met een gladde curve die opgebouwd is uit harmonische componenten en een toevalscomponent, volgens onderstaande formule:

$$Gem(n) = C + \sum_{k=1}^K \left\{ A_k \sin\left(2\pi k \frac{n-0,5}{365}\right) + B_k \cos\left(2\pi k \frac{n-0,5}{365}\right) \right\} + \varepsilon_n$$

In deze formule is n het dagnummer, K het aantal componenten dat wordt meegenomen. Verder varieert k, het golfgetal, van 1 tot K. De termen ε_n representeren de kleine verschillen tussen de gladde functie en de gemiddelden. Door de coëfficiënten A_k en B_k met behulp van lineaire regressie te berekenen worden de ε 's zo klein mogelijk gemaakt. Om dan een gladde, langzaam variërende, functie te construeren moeten we K niet te hoog kiezen. De keuze van K is vastgesteld op basis een aantal experimenten, met de gegevens van de locatie De Bilt, waarbij K varieerde van 1 t/m 6. De uiteindelijke keuze werd gebaseerd op een combinatie van: de grootte van de totale amplitude ($\sqrt{A_k^2 + B_k^2}$) van de component vergeleken met de geschatte onzekerheid in deze amplitude (de t-waarde) en een visuele inspectie van het resultaat.



Figuur 4. De aangepaste curves van Tn [°C] voor K=1 t/m K=4 ten behoeve van de visuele controle. Voor details over deze presentatie wordt verwezen naar de tekst.



Figuur 5. Als figuur 4 maar dan voor Tx.

Deze visuele inspectie is uitgevoerd met de figuren 4 (Tn) en 5 (Tx). In deze figuren zijn de opeenvolgende aangepaste functies voor $K=1$ t/m 4 geplot tegen de dag in het jaar. Om echter de verschillende curves beter te kunnen onderscheiden zijn niet de functies zelf geplot maar het verschil met de fit voor $K=1$ en ook de waargenomen gemiddelden zijn verminderd met deze fit. De aangepaste functie voor $K=1$ is in deze figuren dus een vlakke lijn bij $y=0$. Bij figuur 4 is te zien dat de gemiddelde dagelijkse Tn min of meer rond een sinus-curve slingert en dat deze slingering goed wordt beschreven door de component met $k=2$. De componenten met $k=3$ en $k=4$ voegen daar niet veel aan toe. In figuur 4 zien we dat de gemiddelde Tx op 1 januari onder de sinuscurve ligt maar dan min of meer lineair stijgt ten opzichte van de sinus tot omstreeks eind april. Daarna daalt tot midden juni de afwijking van Tx tov van de sinuscurve steil. Om vervolgens tot 10 augustus weer te stijgen. De componen-

ten tot en met $k=4$ zijn nodig om deze wisselingen goed te kunnen beschrijven. In figuur 2 uit de daling van eind april tot midden juni zich als een tamelijk abrupte verandering in de helling waarmee Tx in die periode stijgt.

Tabel 2 bevat voor $K=6$ de significantie van de componenten en de amplitude voor respectievelijk Tn en Tx op de locatie De Bilt. Uiteindelijk werd gekozen voor $K=2$ voor Tn en $K=4$ voor Tx. Deze waarden voor K werden ook gebruikt op andere locaties en voor het landelijk gemiddelde (volgens de KNMI conventie het gemiddelde van De Kooij, Eelde, De Bilt, Vlissingen en Maastricht, zie toelichting bij de meerdaagse op de internetpagina van het KNMI).

Deze hiervoor beschreven rekenmethode levert dus een dagelijkse normaal voor Tn en Tx. Maar het is ook nog mogelijk om via dezelfde methodiek de dagelijkse percentielen te berekenen. Op basis van de 30 dagwaarden per kalenderdag kunnen het 10% percentiel en het 90% percentiel worden geschat. Ook

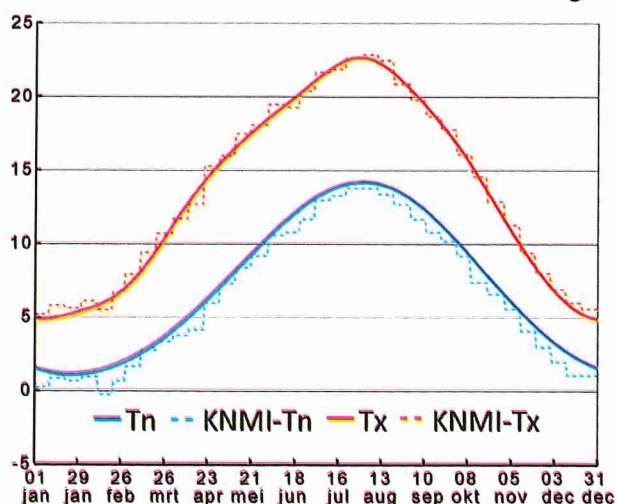
deze reeksen zijn op dezelfde manier met een gladde curve benaderd. In figuur 1 is de reeks van de dagelijkse gemiddelden van de landelijk gemiddelde Tn uitgezet tegen de dag in het jaar en de daarbij behorende aanpaste curve. In die figuur zijn ook het 10% percentiel en het 90% percentiel opgenomen met hun bijbehorende curves. In figuur 2 zijn de overeenkomstige resultaten voor de landelijk gemiddelde Tx weergegeven.

Zoals gezegd is in figuur 3 de standaarddeviatie per kalenderdag van Tn en Tx uitgezet tegen de dag in het jaar. Opvallend is in deze figuur dat de standaarddeviatie van Tx twee minima en maxima heeft in de loop van het jaar. Bij Tn beperkt zich dat tot slechts één maximum en minimum in de standaarddeviatie. De standaarddeviaties van zowel Tn als Tx hebben een relatief maximum in de winter. Echter in de periode midden april tot medio augustus is de standaarddeviatie van Tx ook relatief hoog.

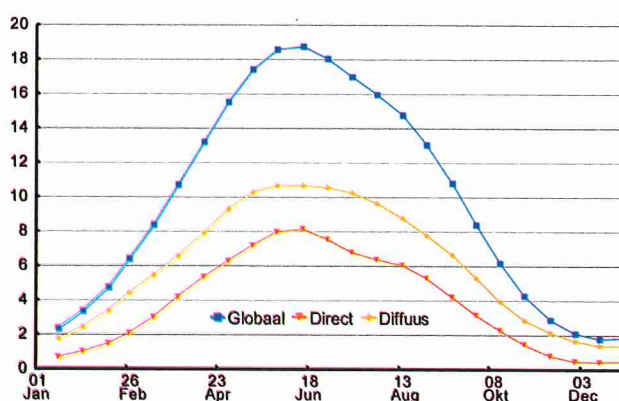
Tot slot zijn in figuur 6, ter vergelijking, de hier berekende normalen van het landelijk gemiddelde en de decadenormalen van het KNMI uitgezet tegen de dag in het jaar.

Conclusie en meteorologische interpretatie

Uit de figuren blijkt dat de beschreven methode voor de berekening van de normaal resulteert in een geleidelijk verlopende dagelijkse normaal die goed past bij de basisgegevens. De zo berekende normaal past, zoals verwacht, ook redelijk bij de decadenormalen die het KNMI publiceert maar vermijdt grote sprongen van dag op dag. Daardoor wordt voorkomen dat bijvoorbeeld een maximumtemperatuur van 12,6 °C op 20 april wordt beschouwd als normaal en op 21 april als 2,6 °C beneden normaal.



Figuur 6. Normalen [°C] voor het landelijk gemiddelde van Tn en Tx (doorgebroken lijnen) en de langjarige decade gemiddelden van de etmaal-extremen (gestippelde lijnen). De decade gemiddelden zijn berekend door het KNMI.



Figuur 7. Verloop in het jaar van de gemiddelde dagzon van de stralingscomponenten: globale straling, directe straling en diffuse straling [MJ/m²] (naar: Velds, 1992).

Tabel 1. Gemiddelde (Gem) en standaarddeviatie (Std) van de verschillen tussen de geschatte Tn en Tx en de waargenomen Tn en Tx over omstreeks 1650 dagen in de periode november 2006 t/m maart 2011.

	Tn gem	Tn std	Tx gem	Tx std
De Kooij	-0,08	0,23	0,03	0,12
Vlissingen	-0,04	0,14	0,03	0,11
Eelde	-0,09	0,23	0,01	0,07
De Bilt	-0,07	0,17	0,01	0,07
Maastricht	-0,07	0,20	0,02	0,08

Daarnaast is het met de beschreven methode ook mogelijk om dagelijkse waarden voor gegeven percentiel-grenzen te bepalen. Door dit bijvoorbeeld voor het 10% percentiel en en 90% percentiel te doen verkrijgt men op eenvoudige wijze de dagelijkse waarde voor een interval waar 80% van alle maximum-respectievelijk minimum-temperaturen binnen vallen.

Een opvallend resultaat is dat voor de maximumtemperatuur vier componenten nodig zijn om tot een redelijke aanpassing te komen. Omdat zowel Tx als Tn samenhangt met de hoeveelheid straling die per dag op het aardoppervlak valt, verwacht men min of meer hetzelfde gedrag. De verandering in helling die wordt waargenomen bij Tx omstreeks eind april is ook niet te zien in de curve die het verloop van de inkomende straling in de loop van het jaar weergeeft, zie figuur 7. Deze figuur is gebaseerd op een tabel in Velds (1992). Een mogelijke verklaring voor het afwijkende gedrag van Tx zou kunnen zijn gelegen in het verschil tussen zeewatertemperatuur en luchttemperatuur. De luchttemperatuur stijgt in het voorjaar veel sneller dan de

zeewatertemperatuur. Kennelijk wordt omstreeks eind april dat verschil zo groot dat het remmend gaat werken op de stijging van de luchttemperatuur totdat de zeewatertemperatuur weer voldoende is gestegen om de luchttemperatuur de mogelijkheid te geven om verder te stijgen. Mogelijk verklaart dit ook het relatieve maximum in de standaarddeviatie in die periode omdat de luchttemperatuur afhankelijk van de windrichting wel of niet de invloed van het koude zeewater voelt. Het maximum in variabiliteit in de winter voor Tn en Tx wordt veroorzaakt door het grote verschil tussen het landklimaat oostelijk van Nederland en het zeeklimaat van de Noordzee.

De berekeningen voor deze normalen zijn gebaseerd op reeksen van 30 jaar. Daar echter het klimaat de laatste decade duidelijk aan het veranderen is kan men zich afvragen of deze normalen wel representatief zijn. Bij de klassieke methode waarbij men puur het gemiddelde neemt om tot een normaal te komen is men wel gebonden aan een relatief lange periode. Mogelijk dat de hier beschreven methode de basisdata dusdanig beter gebruikt dat men normalen over kortere periodes kan bepalen. Voor de gewone normaal zou men dan echter beter uit kunnen gaan van de mediaan van de waarnemingen en die met een vloeiende curve beschrijven. De mediaan heeft bij kleine aantallen namelijk over het algemeen minder last van extreme uitschieters in de waarnemingen.

Ik dank Robert Mureau voor zijn opbouwende kritiek die duidelijk heeft bijgedragen aan de meteorologische inhoud van deze publicatie.

Literatuur

Velds, C.A., 1992: Zonnestraling in Nederland. Thieme/KNMI, 160 pp.

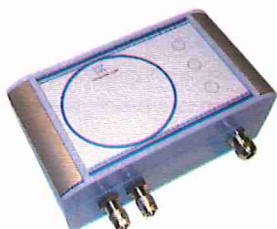
Tabel 2. Amplitudes en t-waarden van de harmonische componenten voor K=6. Een t-waarde groter dan 2 wordt meestal als significant aangemerkt.

	Tn		Tx	
k	Amplitude	t-waarde	Amplitude	t-waarde
1	6,31	93,8	8,97	147,5
2	0,43	6,4	0,67	11,1
3	0,09	1,3	0,18	3,0
4	0,15	2,3	0,34	5,7
5	0,22	3,3	0,22	3,6
6	0,27	4,0	0,17	2,8

Nieuwe producten

Zeer nauwkeurig verschildruk meten

Hoge nauwkeurigheid in een laag bereik en dat ook nog eens met weinig tot geen drift, dat kan nu met de DKP1010. Door druk te meten met een driftvrije uitermate nauwkeurige sensor gebaseerd op het mass flow principe kan de DKP1010 ingezet worden in omgevingen waar kleine en lage drukverschillen gemeten of bewaakt moeten worden. Naast de versie met de mass flow sensor die een minimaal drukbereik heeft van 20 Pa, kan de DKP1010 ook geleverd



worden met een andere sensor voor de hogere bereiken tot maximaal 2 bar. Er zijn diverse soorten uitgangen mogelijk. Andere opties zijn een display, 220Volt voeding, relais, en externe sensoren.

Nieuwe datalogger de Microlog Pro II

De firma Fourtec heeft een nieuwe relatieve vochtigheid en temperatuur datalogger geïntroduceerd, een handzame, robuuste datalogger met één extra ingang voor extra sensoren en een display. De logger heeft een geheugen voor 52.000 samples en een duidelijk 4 digit LCD display. De vernieuwde vochtsensor zorgt voor een snelle stabilisatie en een hogere nauwkeurigheid. Hij heeft een meetfrequentie van 1 s en de mogelijkheid via

adapters een derde parameter te registreren. Op de logger kan men diverse sensoren aansluiten voor het meten van: temperatuur, geleidbaarheid, lichtintensiteit etc. Ook nieuw is de multi platform software van Fourtec met on-line monitoring, realtime data visualisatie (grafieken tabellen etc.), alarm mogelijkheden en een rapport module. Voor meer informatie: info@catec.nl





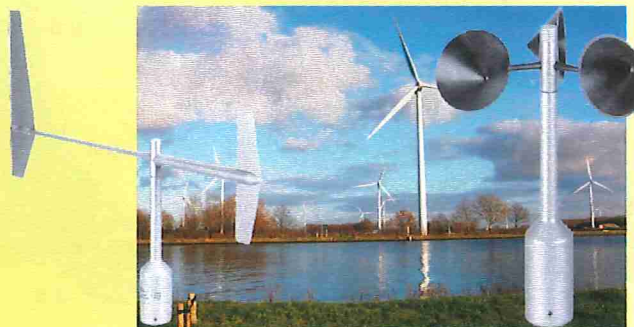
De EE-23 serie vocht & temperatuur transmitters zijn multifunctioneel, hebben een hoge nauwkeurigheid, eenvoudige montage en service. Optioneel is er een weer- en stralingskap voor meteorologische toepassingen. In corrosieve omgeving kan men gebruik maken van een optionele coating.



Disdrometer, de optimale neerslagmeter met laser.
De Disdrometer werkt met een optische laser waarmee nauwkeurig neerslag analyses gemaakt kunnen worden. De sensor detecteert en onderscheidt de hoeveelheid verschillende vormen van neerslag zoals: *motregen, regen, hagel en sneeuw*.



Ultrasonen Anemometer 2Da en compact
Meet windsnelheid, windrichting en virtuele temperatuur. De 2D leent zich uitstekend voor gebruik in zeeklimaat, proces, lucht en scheepvaart, meteorologie, langs rijkswegen enz. en voldoet aan de WMO eisen.



Windsnelheid en Windrichting Transmitter "First Class" hoge nauwkeurigheid
Meetbereik : 0.3...75 m/s - 0...360°
Omgevingstemp. : -50...+80°C
Toepassingen : Windpark referentie
Meteorologie
Onderzoek



Pyranometer GSM 3.3
Meetbereik : 0-1300 W/m²
Uitgangen : 0/4-20mA, 0-5/10V
Spectraal bereik : 0.4 - 1.1 µm
Omgevingstemp. : -30...+60°C
Toepassingen : Meteorologie
Glastuinbouw
Verkeer



Ultrasonen Windmeter 3D
Meet windsnelheid en windrichting in 3 dimensies X, Y en Z, hoge precisie, digitale en analoge uitgangen.
Toepassingen :
Meteorologie Air monitoring
Klimatologie Immissie controle
Luchtvaart

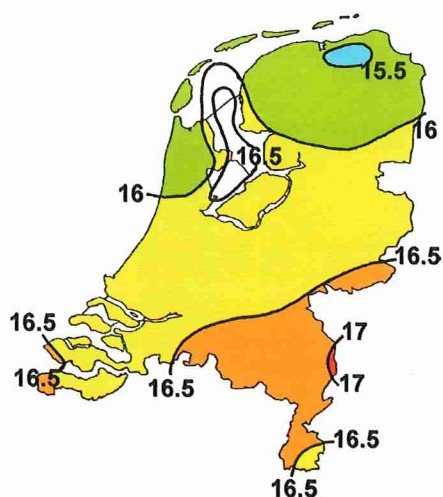
Van stand-alone tot complete systemen
Voor meer informatie, prijzen of een gespecificeerde offerte:

www.catec.nl - info@catec.nl - tel: +31 174 272330 - fax: +31 174-272340

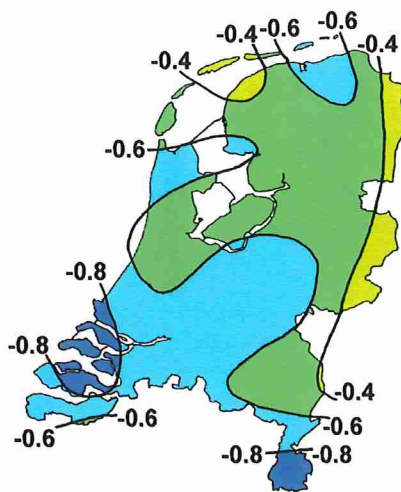
Zomer 2011

KLAAS YBEMA EN HARM ZIJLSTRA (WEERSPIEGEL)

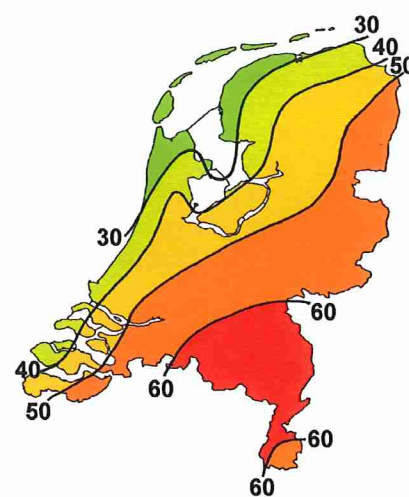
Natte zomers hadden we wel vaker de laatste jaren, maar dan was het tegelijkertijd meestal ook aan de zonnige en warme kant. De combinatie koel, nat en somber, zoals we die dit jaar meemaakten, doet denken aan eind jaren tachtig of zelfs de jaren zestig! Het kan dus nog, zou je met enige opluchting kunnen constateren. Een gevoel, dat zeker niet door de gemiddelde toerist zal zijn gedeeld. Objectief gezien, dus niet door de horecabril, was het een koele zomer, al was de thermische afwijking niet extreem. Voor het noorden van het land moeten we tot het jaar 2000 terug voor een koelere zomer en voor het zuiden van het land tot 1993. In het zuiden beleefde men de somberste zomer sinds 1988, maar in het noord(west)en viel de negatieve afwijking in zonneschijn wel mee. Onweer kwam wat vaker voor dan normaal, maar echt uitzonderlijk was alleen de neerslag. Gemiddeld over het land, dus zeker niet overal, was het de natste zomer ooit (dat wil zeggen na 1900) gemeten! En nog nooit was er ergens zoveel zomerregen gevallen als dit jaar in Elspeet: 504 mm. Maar was de zomer daarom "slecht"?



Figuur 1. Gemiddelde etmaaltemperatuur (gemiddeld 16.2 °C, normaal 16.8 °C).



Figuur 2. Afwijking temperatuur (gemiddeld -0.6 °C).



Figuur 3. Aantal dagen met $T_{max} > 20$ °C (gemiddeld 47, normaal 55).

Temperatuur

Ten opzichte van de nieuwe normaal bleef de gemiddelde temperatuur in het hele land iets achter, zie figuren 1 en 2. Gemiddeld over het land was het de koudste zomer sinds 2000, toen er 16.1°C werd berekend in De Bilt tegen 16.2 nu. De Bilt kwam tot 16.3°C bij een gemiddeld maximum van 20.6°C (normaal 21.9°C) en een gemiddeld minimum van 11.6°C (normaal 11.9°C). Voor een lager gemiddeld maximum moeten we terug tot 1998 (20.0°C). De uiterste temperaturen waren in De Bilt 32.2°C op 28 juni en 4.7°C op 12 juni.

Het aantal warme dagen bleef met een landgemiddelde van 47 onder normaal (figuur 3). Voor het laatst in 1998 lag dat cijfer lager (41). Dat geldt ook voor De Bilt, waar 50 warme dagen werden geboekt (normaal 60), tegen 43 in de zomer van 1998. Groter nog was de negatieve afwijking in aantal zomerse dagen (figuur 4). Het landgemiddelde van 9 lag gelijk aan dat van 2000 en we

moeten tot 1993 terug voor een lager aantal (8). De Bilt telde er 7 tegen 21 normaal en slechts 5 in 1993. De laatste zomer die in De Bilt voorbijging zonder tropische dagen was eveneens die van 1993. Dit jaar waren er 2 tropische dagen (normaal 4) en nergens kwam het aantal verder dan drie.

Wind

De gemiddelde windsnelheid week landelijk weinig af van normaal: 4.0 m/s tegen 3.8 m/s. De zwaarste windstoot werd tijdens het onweer van de 28^e in Eindhoven gemeten: 32 m/s. Op 14 juli stond er aan de kust een stormachtige noordwester met in Hoek van Holland een hoogste uurgemiddelde van 20 m/s, waarbij windvlagen voorkwamen van 29 m/s. Ook op 23 en 24 juli waaide het hard tot stormachtig aan de kust. Over de hele zomer telde IJmuiden liefst 18 dagen met een uurgemiddelde van minstens 7 Beaufort; Vlieland had er 15.

Zon en straling

Het aantal uren zon bleef overal achter bij normaal, het meest in het zuiden, zie figuren 5 en 6. Het landgemiddelde van 519 uren was sinds 1998 (509 uren) niet meer zo laag geweest en dat geldt ook voor het aantal zonuren in De Bilt: 507 (normaal 588 uren) tegen 486 uren in 1998. Het werd de somberste juli in elf jaar en ondanks de stralende augustusstart, deed de oogstmaand het niet veel beter. Het aantal zonloze dagen bedroeg in De Bilt 6 (normaal 4), waarvan liefst vier in juli. Dat was daar sinds juli 1980 niet meer voorgekomen (toen ook 4).

De totale globale straling bedroeg in De Bilt 143.4 kJ/cm² (normaal 151.1), ook al het laagste cijfer sinds 1998. Opvallend was de hoge dagsom van 1 augustus: 2577 J/cm², niet ver onder de hoogste augustuswaarde van 2605 op de 5^e van 1996. De hoogste dagwaarde bedroeg 3093 te Nieuw Beerta op 1 juni.

Bachelor of Science
Bodem, Water, Atmosfeer

Master of science in
Meteorology and Air Quality



**Meteorologie en Luchtkwaliteit
Wageningen Universiteit**

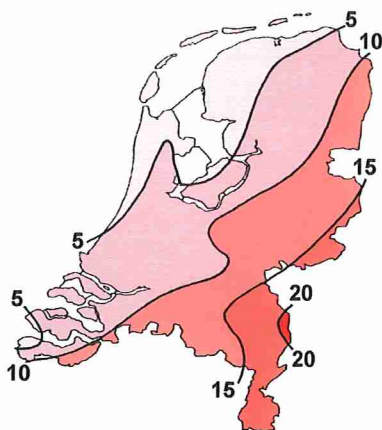
www.maq.wur.nl

Contact

Leo Kroon
leo.kroon@wur.nl

Informatie over toelating

www.wageningenuniversity.nl/NL/Informatie+voor/



Figuur 4. Aantal dagen met $T_{max} > 25^\circ\text{C}$ (gemiddeld 9, normaal 19)

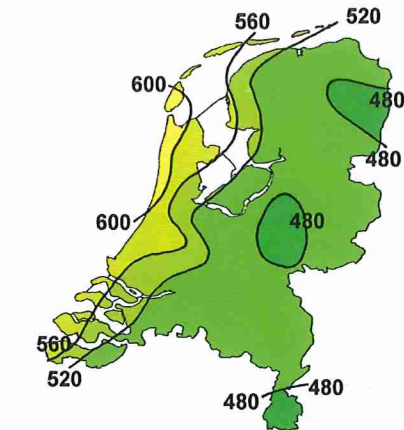
Onweer

Het onweerde ergens in het land op 50 dagen tegen 40 normaal. Op diverse plaatsen waaronder De Bilt werden er 21 geteld (figuur 7). Alleen juni gaf in De Bilt al 10 onweersdagen, net als in 2007. Voor een hoger cijfer (11) moeten we terug tot juni 1982.

Zwaar en uitgebreid onweer kwam voor op 28 juni, met lokaal hagel en op vele plaatsen zware windstoten. Er werden meer dan 75.000 ontladingen geregistreerd. Tamelijk uitgebreid was het onweer ook op 5 en 6 juni. In juli waren er vooral lokale en incidentele onweersdagen, maar augustus pakte weer uit op de 18° in het zuidoostelijk landsdeel en verder op de 23° en 26°.

Neerslag

Qua neerslag was de afgelopen zomer het spiegelbeeld van 1983. Werd destijds een recordnatte lente gevolgd door een recorddroge zomer, nu was het andersom. Het landelijk gemiddelde bedroeg 352 mm tegen 225 mm normaal en was nog nooit zo hoog geweest (tabel 1). Dat geldt eveneens voor de grootste gemeten hoeveelheid: 504 mm in Elspeet, een historisch cijfer. Gelukkig kan de Veluwe heel wat hebben. Ook de kleinste hoe-

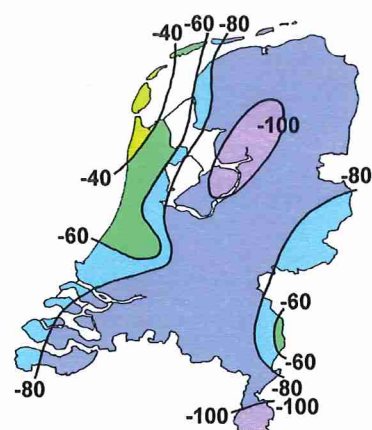


Figuur 5. Totaal aantal uren zon (gemiddeld 519, normaal 600).

veelheid, 233 mm in Cadzand, was nog nooit zo hoog geweest. Het natst was het in een zone van Zuid-Holland naar Overijssel, het droogst in Zeeland en Midden-Limburg (figuur 8).

Niet overal was de zomer dus recordnat. De Bilt kwam tot 389 mm (normaal 220 mm) en dat was op een na de natste ooit. In 1966 viel daar 411 mm. De grootste etmaalsom daar, 59 mm op 12 juli, was na 1900 maar twee keer overschreden: op 19 juli 1966 viel er 61 mm en op 1 augustus 1917 werd er 62 mm afgetapt. In de lange reeks van Hoofddorp sedert 1735 was het ook op een na de natste zomer ooit met 412 mm (normaal 241 mm). Alleen de zomer van 2004 was daar met 426 mm nog natter. Ook voor het noorden van het land geldt dat de zomers van 2004 en 1985 in het algemeen natter waren.

Op 5 juni kwam een einde aan een droge periode van liefst 96 dagen (vanaf 1 maart). Drastischer bleek een omslag nauwelijks te kunnen zijn. Vanaf 11 juni viel er in een periode van 66 dagen in Elspeet namelijk 429 mm. Ochtendaftapingen van meer dan 60 mm kwamen op vijf dagen voor en er waren in totaal 18 neerslagstations bij betrokken. Een echte topmaand werd juli. Dankzij twee



Figuur 6. Afwijking van het aantal uren zon (gemiddeld -82).

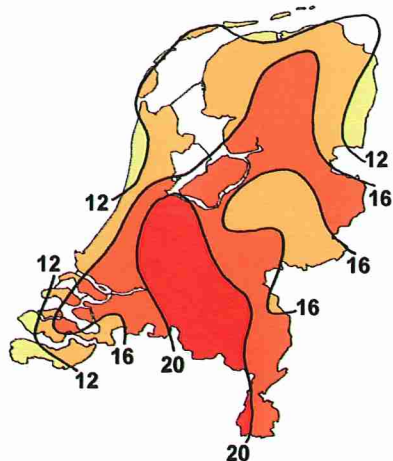
grote sommen op de 12° en 14° werd de periode 11-20 juli in De Bilt met 137 mm de natste 10-daagse juli-periode ooit. Het natte en wisselvallige weer hield dapper stand tot half september, zodat er ook op het gebied van de neerslagduur de nodige records konden sneuvelen.

Het aantal droge dagen (< 0.1 mm) bedroeg in De Bilt 34 (normaal 50) en dat was het laagste aantal sinds 1987 (30). Op 43 dagen (normaal 31) viel er in De Bilt 1 mm of meer en ook dat is het hoogste aantal sinds 1987 (47). Sinds 1900 zijn er maar vier zomers geweest met meer zulke dagen! Aan het eind van de zomer varieerde het neerslagoverschot van 207 mm te Deelen tot -14 mm in Vlissingen. Beter zo dan andersom: de hoge zandgronden kunnen heel wat meer verstouwen dan de Zeeuwse polders!

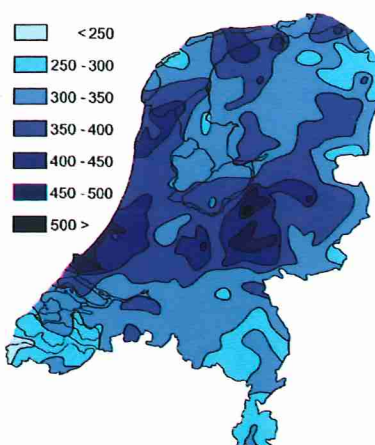
Diversen

In De Bilt kregen slechts 7 dagen het ADS-keurmerk tegen 19 normaal (Above-Dry-Sunny). Dat aantal was sinds 1988 niet zo laag geweest (ook 7). Sommige plaatsen kwamen niet verder dan 4 zulke dagen; Vlissingen had er nog 11. Het benaderd weercijfer kwam in De Bilt op 5.8 uit (normaal 6.4) en dat was even laag als in 1998.

Een "slechte" zomer? Je hoort niet anders en iedereen zal wel redenen tot klagen hebben (tentje op de Veluwe, enz.). Maar bedenk wel dat er na het kurkdrege voorjaar minstens één dramatischer en schadelijker scenario was dan een recordnatte zomer. Een recorddroge.



Figuur 7. Totaal aantal dagen onweer (gemiddeld 18, normaal 13).



Figuur 8. Seizoenssom van de hoeveelheid neerslag (in mm; gemiddeld 352, normaal 226).

Tabel 1. Natste zomers (landelijk; 1901-nu)	
Jaar	Neerslag (mm)
2011	352
2004	332
1927	329
2007	323
1954	316
1966	309
1917	306
1965	308

Nanmadol (1111)

KEES STIGTER



column

Sinds mijn boek "Applied Agrometeorology" verscheen, ontvang ik ook uitnodigingen om over speciaal dat onderwerp te komen spreken. En over de betreffende dienstverlening waarop ik in dat boek hamer als nieuwe trend. Eind augustus/begin september betrof dit Taiwan, via het lokale "Agricultural Research Institute (TARI)". In China hebben de huidige instituten nauwelijks echte (dat is wetenschappelijke) moderne geschiedenis van vóór 1980. Toen begon men te herstellen van Mao's Culturele Revolutie (1966 – 1976) en de rampenperiodes van de voorgaande 30 of zo jaren. Voor Taiwan ligt dat anders. De inleiding van de TARI brochure begint met: "this institute was established in 1895 by the Taiwan Gubernatorial Government under Japanese rule".

In de loop van de jaren vijftig begint er een nieuwe geschiedenis voor Taiwanese Instituten. Het TARI verhuisde dan ook nog in 1977 naar het 120 km zuidelijker gelegen Taichung. Daar mocht ik om te beginnen op 31 augustus de opening "key note" lezing geven op een lokaal congres "Crop Breeding and Management of the Agricultural Environment for Coping with Climate Change". Maar de eigenlijke aanleiding voor deze column is het optreden van de tyfoon "Nanmadol" (1111, de elfde van dit jaar), die vanaf midden augustus in de buurt van en over de Filipijnen raasde. De naam is ontleend aan (ruines van) een stadje in Micronesië. Vanwege de gelijktijdig optredende "Irene" boven de Oostkust van Amerika kreeg "Nanmadol" veel minder aandacht, maar de schade in de Filipijnen was groot en het dodental daar in de orde van honderd.

Op de dag voor mijn vertrek (in de avond van 28/8) was hij tussen de Filipijnen en Taiwan aangeland, op weg naar Taiwan. De voorspelling, laat op zaterdag 27/8, was dat hij pas laat op 31/8 ten zuiden van Taiwan zou passeren. Dus ik maakte me niet erg ongerust voor mijn vlucht van Bangkok naar Taipei, en mijn aansluitende avondlijke autorit van twee uur naar Taichung op maandag. Taipei ligt heel noordelijk op dit 400 km lange eiland en Taichung westelijk nog een eind boven de Kreeftskeerkring die even onder het midden over dit subtropische eiland loopt. Maar de satellietbeelden van wolken met regenintensiteit van laat op zondag 28/8 die mijn counterpart mij dinsdagmorgen liet zien gaf aan dat het oog zich op die avond van 28/8 al net ten zuiden van Taiwan bevond. De grootste wolkenmassa's lagen weer ten zuiden daarvan. Dus de regenintensiteit was zo asymmetrisch dat alleen het zuiden en wat

zuidoostelijke gebieden van Taiwan een hoge neerslag kregen. De overgrote meerderheid belandde op dat moment in de Stille Oceaan en de Zuid-Chinese zee.

Mijn eerste krant, de China Post van dinsdagmorgen, had dan ook de kop "Central Weather Bureau revises forecast on Nanmadol rains", met de sub-kop "Tropical storm eases threat of drought but risks floods". Het was een bijstelling met ongeveer 25% naar beneden van de neerslagverwachtingen op land betreffende de tyfoon. En omdat de een zijn dood de ander zijn brood is, kwam dit mijn counterpart al op een boos telefoontje te staan van boeren die teleurgesteld waren in de beloofde regen. De schade in het zuiden en zuidoosten vanwege rukwinden en regenvlagen, vooral aan de windgevoelige bananen, werd geschat op een half miljoen Euro. Dat had dus veel erger gekund. Een dag later werden de regenverwachtingen weer iets naar boven bijgesteld, en dit toont natuurlijk aan hoe moeilijk zulke verwachtingen zijn. Op de dag van mijn zo goed als droge landing in het noorden en de dagen daarvoor, viel in het "verre" zuiden bijna 1000 mm, maar dat gebied bleef heel beperkt. De NOS meldde op de dag van mijn landing dat de orkaan "Nanmadol" Taiwan had bereikt. Er waren meldingen van zware regenbuien en windvlagen, maar over slachtoffers of schade was niets bekend. Voor de komst van de orkaan had de regering duizenden inwoners in het zuiden en oosten van het eiland geëvacueerd. Daarbij werden zo'n 35.000 militairen ingezet, meldde de NOS ook.

Dit was overigens de eerste tyfoon die Taiwan echt raakte dit jaar. Iedereen praatte vooral over de "Morakot", die vroeg in augustus 2009 over het noorden van Taiwan trok en meer dan 700 mensen het leven kostte. Toen lag de regering onder vuur vanwege een te trage reactie na de orkaan. Vandaar de deze keer snel genomen maatregelen nog voor de tyfoon doel trof. Wel was er nu ander gemor. De regering was ten eerste gewoon politiek blijven bedrijven met Nanmadol op komst, terwijl de bevolking wel wat anders aan zijn hoofd had. Ten tweede was maandag uitgeroepen tot een vrije "tyfoondag" voor de scholen, maar niet voor de werkers. Dit maakte dat de ouders niet wisten wat ze met hun kinderen aanmoesten. De regering beloofde dan ook onmiddellijk bij volgende gelegenheden "betaalde vrije dagen" te geven als kinderen uit veiligheidsoverwegingen niet naar school konden. En zo waren weer, klimaat en samenleving ook in Taiwan stevig met elkaar verbonden.

INDEX JAARGANG 20, 2011

- 1 Boer, B. de.: Dagelijkse gang van smeltwater in de Groenlandse ijskap, 20 no.1, 4-5.
- 2 Jansen, F.: De ongelijke kansen van het weeralarm en andere vormen van communicatie over het weer, 20 no.1, 6-9.
- 3 Dinther, D. van: Dwarswind meten met een scintillometer, 20 no.1, 9-11.
- 4 Floor, K.: PyroCb's brengen rook naar de stratosfeer, 20 no.1, 12-15.
- 5 Schrier, G. van der en N. Weber.: De Golfstroom in de Kleine IJstijd, 20 no.1, 15-18.
- 6 Bars, D. Le, D. Boshinova, C. Chuwah, J. van Angelen, D. Mrozek, S. Pathirana, H. Ouwersloot, C. Photiadou, J. Timkovsky en G.-J. Steeneveld: Het Buys Ballot Herfstsymposium 2010, 20 no.1, 20-23.
- 7 Siegmund, P.: Klimaatmodellen: steeds meer componenten, steeds meer foutenbronnen – hoe ontwikkelt zich de precisie?, 20 no.1, 25-27.
- 8 Born, R. van den: Harry Otten neemt na 25 jaar afscheid van Meteo Consult, 20 no.2, 4-8.
- 9 Berg, W. van den: Meteo Consult na 25 jaar, 20 no.2, 8-9.
- 10 Floor, C.: Acht regenbogen, 20 no.2, 9-12.
- 11 Dool, H. van den: Ons filiaal in Indië, 20 no.2, 12-16.
- 12 Lenderink, G., G.J. van Oldenborch, E. van Meijgaard en J. Attema: Intensiteit van extreme neerslag in een veranderend klimaat, 20 no.2, 17-20.
- 13 Tijn, S.: 25 jaar HIRLAM, een korte geschiedenis, 20 no.2, 21-23.
- 14 Floor, C.: Vulkanische mesocyclonen anno 2011, 20 no.3, 5-7.
- 15 Lablans, W. en G. van der Schrier: Robert Fitz Roy: zeeman en meteoroloog (deel 1), 20 no.3, 7-12.
- 16 Hamid, K.: Zoektocht naar de oorsprong van significante windschade na onweer, 20 no.3, 12-17.
- 17 Delden, A. van: Will de Ruijter onderscheiden tot Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw op het negende IMAU-lustrum, 20 no. 3, 17-18.
- 18 Heusinkveld, B.: De Veenkampen, het nieuwe observatorium van Wageningen Universiteit, 20 no.3, 20-23.
- 19 Floor, K.: Pyrocumulus kleurt rookpluim wit, 20 no.4, 4-6.
- 20 Lablans, W. en G. van der Schrier: Robert Fitz Roy: zeeman en meteoroloog (deel 2), 20 no.4, 6-9.
- 21 Schrier, G. van der, A. van Ulden en G.J. van Oldenborch: De Centraal Nederland Temperatuurreeks, 20 no.4, 10-15.
- 22 Groen, G.: Zoals de wind waait Aan het eind van mijn loopbaan, 20 no.4, 17-20.
- 23 Vries, H. de: De koudegolven van de toekomst, 20 no.4, 20-23.
- 24 Kruizinga, S.: Normalen voor de dagelijkse minimum- en maximumtemperatuur, 20 no.4, 25-28.

COLUMNS

Huug van den Dool

Het verdriet van de meteorologie, 20 no.1, 18-19.
Dood vogeltje, 20 no.2, 23-24.
Het Meteogram, 20 no.3, 19-20.
Mijn mooiste jaren, 20 no.4, 15-17.

Kees Stigter

Bemoelial, beleidsvoorbereider, bodhisattva, 20 no.1, 30.
Kan je boeren van dienst zijn met meteorologie?, 20 no.2, 30
Needham's Question, 20 no.3, 30
Nanmadol (1111), 20 no.4, 33

AUTEURS INDEX

Angelen, J. van	6	Floor, C.	4, 10, 14, 19	Ouwersloot, H.	6
Attema, J.	12	Groen, G.	22	Pathirana S.	6
Bars, D. le	6	Hamid, K.	16	Photiadou C.	6
Berg, W. van den	9	Heusinkveld, B.	18	Schrier, G. Van der	5, 15, 20, 21
Boer, B de	1	Jansen, F.	2	Siegmund, P.	7
Born, R. van den	8	Kruizinga, S.	24	Steeneveld, G.-J.	6
Boshinova, D.	6	Lablans, W.	15, 20	Tijn, S.	13
Chuwah, C.	6	Lenderink, G.	12	Timkovsky, J.	6
Delden, A. van	17	Meijgaard, E. van	12	Ulden, A. van	21
Dinther, D. van	3	Mrozek, D.	6	Vries, H. de	23
Dool, H. van den	11	Oldenborch, G.J. van	12, 21	Weber, N.	5

Sponsors van de Nederlandse Vereniging ter bevordering van de Meteorologie zijn:



wittich & visser
wetenschappelijke & meteorologische instrumenten
tel 070 3070706 | fax 070 3070938 | info@wittich.nl | www.wittich.nl



WAGENINGEN UR
For quality of life



CaTeC
Turfshipper 114
2292 JB Wageningen
☎ 0174-272330
☎ 0174-272340
✉ info@catec.nl
www.catec.nl



Buienradar.nl

Colofon

Redactieadres

Meteorologica
Postbus 464
6700 AL Wageningen
e-mail: leo.kroon@wur.nl
Tel. 0317-482604

Meteorologica (ISSN 0929-1504) verschijnt vier maal per jaar en is een uitgave van de Nederlandse Vereniging ter bevordering van de Meteorologie (NVBM).

Hoofredacteur: Leo Kroon

Redactieleden: Wim van den Berg, Aarnout van Delden, Robert Mureau, Heleen ter Pelkwijk en Rob Sluijter.

Administratie: Heleen ter Pelkwijk (pelkwijk@knmi.nl)

Penningmeester: Ingeborg Smeding (ingeborg@weer.nl)

Vormgeving: Rob Stevens

Vermenigvuldiging: Colorhouse, Almelo

Abonnementen

Alle leden van de NVBM zijn automatisch geabonneerd op Meteorologica. Ook niet-leden kunnen zich abonneren door 28,- Euro voor vier nummers over te maken op Postbank giro-nummer 626907 ten name van:

NVBM-Meteorologica

Postbus 464

6700 AL Wageningen

onder vermelding van:

- Abonnement Meteorologica
- Uw adres

Abonnementen worden telkens aangegaan voor een heel kalenderjaar; bij tussentijdse betaling worden de reeds verschenen nummers van dat jaar toegestuurd. Voor abonnees in het buitenland zijn de kosten 34,- Euro per jaar. Ook losse nummers kunnen op deze manier worden besteld (zolang de voorraad strekt) voor 9,- Euro per stuk, onder vermelding van de gewenste jaargang en nummer(s). Instellingen betalen 58,- Euro voor een abonnement.

Einde abonnement

Afgesloten abonnementen worden stilzwijgend per kalenderjaar verlengd. Stopzetting dient schriftelijk te geschieden voor 15 november van het lopende jaar. De mededeling omtrent stopzetting kunt U richten aan NVBM-Meteorologica (adres: zie boven).

Lid worden van de NVBM

Het lidmaatschap van de NVBM kost 50,- Euro per jaar voor gewone leden en 39,- Euro per jaar voor buitengewone leden. Meer informatie hierover is te vinden op de NVBM website: www.nvbm.nl.

Artikelen uit Meteorologica mogen uitsluitend worden overgenomen na voorafgaande schriftelijke toestemming van de redactie.

Advertenties

Adverteren in Meteorologica is mogelijk. Advertenties worden geplaatst op 3 formaten: A5, A4 of A3.

Uiterste inleverdata voor advertenties zijn: 1 februari, 1 mei, 15 augustus en 1 november voor respectievelijk nummer 1, 2, 3 en 4.

Tarieven kunt u opvragen bij

Leo Kroon

Tel. 0317-482604

e-mail: leo.kroon@wur.nl

Sponsorschap NVBM

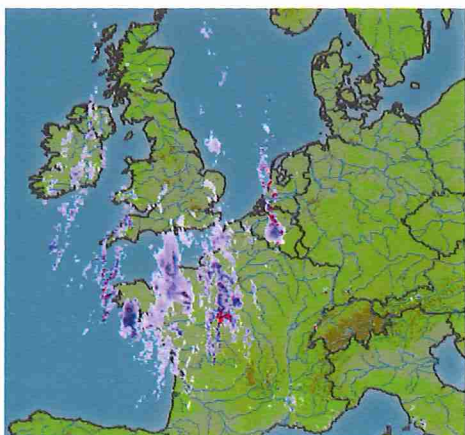
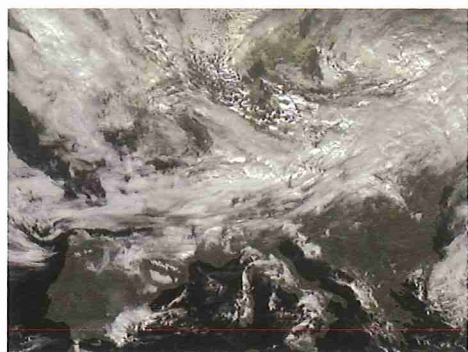
Men kan sponsor worden van de NVBM. Een sponsorschap wordt afgesloten voor minimaal 1 jaar. Een sponsor heeft diverse rechten, o.a.:

- Het plaatsen van advertenties in Meteorologica
- Plaatsing van het firmalogo in het blad.
- Het bijwonen van congressen e.d. georganiseerd door de NVBM.

Voor meer informatie over het sponsorschap kunt u contact opnemen met Leo Kroon (zie boven).



Buienradar.nl



**Ziet
U
de bui
al
hangen?**