

JAARGANG 27 - NR. 4 - DECEMBER 2018

METEOROLOGICA



TOEKOMSTSTORMEN

UITGAVE VAN DE NEDERLANDSE VERENIGING TER BEVORDERING VAN DE METEOROLOGIE

Ultrason Universele Windmeter

Nieuwe Compacte Ultrason Windmeter 2D

Features:

- Robuust en compact
- Optimale prijs-prestatie ratio
- Hoge nauwkeurigheid
- Onderhoudsvrij
- Digitale en analoge interfaces
- Gepatenteerde Ultrasonen sensoren
- Verwarmd
- Zeewaterbestendige metalen behuizing
- Toepassingen : Off-shore, Bruggen en sluizen, Industrie, Scheepvaart, Luchtvaart, Verkeer, Windmolens.

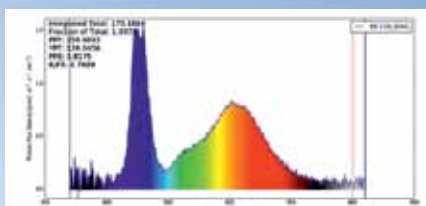
Meetbereiken:

- WS : 0... 75m/s
- WR : 0...360°
- Temp. : -40 - +70°C
- Uitgangen: 0/4...20mA
- 0/2...10V
- Interface : ASCII, Modbus
- RTU, NMEA WV

**Binnenkort
leverbaar!**



VIS range Spectroradiometer



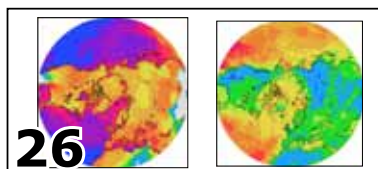
Spectroradiometers voor veld applicaties.

De SS-serie is beschikbaar met twee golflengte opties:
340 tot 820 nm (SS-110)
635 tot 1100 nm (SS-120)

Beide uitvoeringen zijn beschikbaar met verschillende lenzen:
(Field Of View): 180° (voor hemisferische metingen),
150° en 25° (voor reflectie metingen).

Toepassingen: lightspectrum metingen (energie flux dichtheid, foton flux dichtheid, verlichtingssterkte) van verschillende lichtbronnen, reflectie en transmissie metingen van natuurlijke (vaak gewas) en synthetische materialen. Eenvoudig in gebruik, effectieve metingen m.b.v. USB interface.





VAN DE HOOFDREDACTEUR

De herfst is traditioneel het stormseizoen in Nederland. In dit nummer van Meteorologica vinden we twee bijdragen in dit thema. Ten eerste beschrijft het artikel van Linda van Garderen en coauteurs op pagina 4 hoe stormen in Nederland zullen veranderen in een toekomstig, opwarmend klimaat. Hiertoe gebruiken zij een zeer hoog-resolutie klimaatmodel om ook kleine en felle stormen mee te nemen, iets wat in de relatief grove resolutie van "normale" klimaatmodellen niet gebeurt. Wat blijkt? Waarschijnlijk zal het aantal stormen dat Nederland zal teisteren afnemen, maar de veranderingen blijven beperkt en de interne variabiliteit is vaak groter dan de trends.

In zijn artikel op pagina 12 bespreekt Sander Tijn het door hemzelf aan het KNMI ontwikkelde stormgetal. Dit is een maat voor de sterkte van stormen, gebaseerd op de sterkte van de opgetreden (en verwachte) windstoten en de ruimtelijke uitgebreidheid van het windveld. Afgaande op deze classificatie verschijnt de storm van 25 januari 1990 op nummer één van de ranglijst van sterkste stormen in Nederland. Een mooie toepassing is om het stormgetal te berekenen voor de verwachtingen ten behoe-

ve van de door het KNMI uit te geven waarschuwingen. Ook laat Sander zien dat als orkaan Ophelia in oktober 2017 niet over Ierland maar over Nederland was getrokken dit (veruit) de zwaarste storm zou zijn geworden in de afgelopen halve eeuw.

Na de herfst volgt onherroepelijk de winter. Dit nummer bevat een winterse bijdrage van Harry Geurts in de rubriek Weermuziek (pagina 20), waarin hij u een verscheidenheid aan toepasselijke muziekstukken voorschotelt om de donkere dagen mee door te komen. Tevens beschrijven Jesse Reusen en coauteurs in hun artikel op pagina 8 het koude en winterse klimaat van het noordpoolgebied. Zij bestuderen de variaties van het Arctische klimaat, van interjaarlijkse tot decadale (> 10 jaar) schommelingen. Zij vinden dat dit soort klimaatfluctuaties in het Arctische gebied heel groot zijn (veel groter dan in bijvoorbeeld Nederland), en dat zulke variaties ook sterk afhankelijk zijn van de toestand van het klimaat. Zo neemt de klimaatvariabiliteit sterk af naarmate het noordpoolgebied opwarmt, blijkt uit berekeningen met het KNMI-klimaatmodel EC-Earth. Met deze winterse bespiegelingen wens ik u een gezond en gelukkig 2019 toe.

INHOUDSOPGAVE

4 Stormen van de toekomst

LINDA VAN GARDEREN, EVELINE VAN DER LINDEN, GERARD VAN DER SCHRIER, LAURENS GANZVELD, ALBERT KLEIN TANK

8 Arctische variabiliteit in warme en koude klimaten

JESSE REUSEN, EVELINE VAN DER LINDEN, RICHARD BINTANJA

12 Het stormgetal

SANDER TIJN

16 Column – Dan maar Ukkel

HUUG VAN DEN DOOL

17 Recensie "Gevoelstemperatuur" van Heleen Ekker

FIONA VAN DER BURGT

17 The Harry Otten Prize for Innovation in Meteorology

18 Congresverslag ERAD2018 – 10th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology

REMKO UIJLENHOET

19 Oerweer

AVRAM HULSCHER

20 Weermuziek – De winter

HARRY GEURTS

24 Klimaatbericht – Derde Metop satelliet gelanceerd

PIET STAMMES, LÉONIE BOSSELAAR

26 Klimaatoverzicht – Seizoenscyclus van temperatuurextremen

GEERT JAN VAN OLDENBORGH

28 Promoties – Understanding the predictability of Arctic climate

FOLMER KRIKKEN

29 NVBM Mededelingen

BESTUUR NVBM

30 Column – Droog, droger, 2018?

GERARD VAN DER SCHRIER

31 NVBM Sponsors en Colofon

Advertenties

2 CaTeC

11 IMAU – Universiteit Utrecht

23 Wageningen Universiteit

25 Wittich en Visser

32 KNMI

Voorkant

Het strand bij Zandvoort aan Zee op 28 oktober 2018. Foto: Geert Jan van Oldenborgh.

Stormen van de toekomst

L. VAN GARDEREN (HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT, HZG), E.C. VAN DER LINDEN (KNMI), G. VAN DER SCHRIER (KNMI), L. GANZEVELD (WUR), A.M.G. KLEIN TANK (HADLEY CENTRE, WUR)

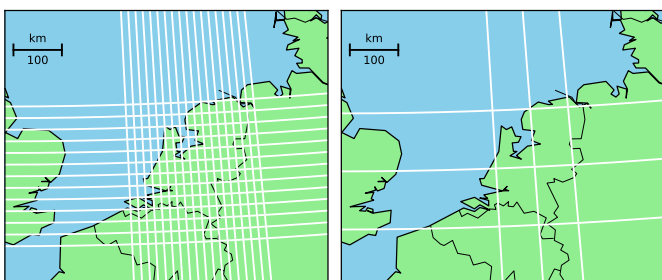
Volgens de KNMI'14 klimaatscenario's zal het stormklimaat van de toekomst niet heel anders zijn dan het huidige stormklimaat. In deze studie houden we dit beeld kritisch tegen het licht door toekomstsimulaties van een zeer fijnmazig klimaatmodel te analyseren. Deze simulaties geven een realistisch stormklimaat voor het huidige klimaat – veel realistischer dan de vorige generatie modellen. Houdt het toekomstbeeld geschetst in de KNMI'14 scenario's stand?

Inleiding

Hoe de kans op zware stormen zal veranderen in een opwarmend klimaat is van evident belang. De hoogte van zee- en rivierdijken is aan overschrijdingskansen van de waterstand in zee en rivier gekoppeld. Daarnaast gaat stormschade met name in verstedelijkte gebieden snel omhoog met de zwaarte van een storm. De overheid heeft dan ook een duidelijk belang om een betrouwbare schatting te krijgen of de huidige bescherming voldoende klimaatbestendig is.

De KNMI'14 klimaatscenario's laten zien dat toekomstige veranderingen in windsnelheid klein zijn en dat het wind- en stormklimaat in Nederland grote natuurlijke variaties vertoont. De KNMI'14 scenario's zijn gebaseerd op de klimaatmodellen van het *Climate Modelling Intercomparison Project 5* (CMIP5), waaraan het KNMI ook heeft bijgedragen met het EC-Earth klimaatmodel. De ruimtelijke resolutie van dit model is T159 en komt overeen met een rooster van ongeveer 1.1 graad, of 122 km in het vierkant (op de evenaar). Deze resolutie is aan de hoge kant in vergelijking met andere modellen uit de CMIP5-familie en was destijds zelfs één van de hoogste resoluties die gebruikt is.

Klimaatmodellen zijn echter continu aan ontwikkeling onderhevig. Vanwege de toegenomen rekenkracht kunnen klimaatmodellen op steeds hogere resolutie worden gedraaid. Een interessante vraag is daarom wat de rol is van ruimtelijke resolutie bij het oplossen van allerlei processen in de atmosfeer en oceaan, de koppeling tussen atmosfeer en land, en de effecten daarvan op de dynamica van het gemodelde klimaat. Eerder onderzoek van het KNMI (Haarsma et al., 2013) laat bijvoorbeeld zien dat de vorming van tropische cyclonen in een hoge-resolutie versie van EC-Earth wel opgelost kan worden, terwijl deze simpelweg ontbreken in de CMIP5 modellen. Dit betekent dat aan het gemodelde Europese stormklimaat in de hoge resolutie de (afgezwakte) tropische cyclonen toegevoegd worden, zoals orkaan Ophelia die in het najaar van 2017 de Ierse kust teisterde (surfobs.climate.copernicus.eu/stateoftheclimate/october2017.php). De ruimtelijke resolutie van het model waarmee deze orkanen gesimuleerd worden is T799 (0.225 graad, of 25 km). In



Figuur 1. Illustratie van het modelrooster over Nederland op resolutie T799 (links) en T159 (rechts).

Figuur 1 is het verschil tussen T159 en T799 in fijnmazigheid duidelijk zichtbaar.

Is het geruststellende beeld over het toekomstige stormklimaat van de KNMI'14 scenario's toe aan revisie? Haarsma et al. (2013) lieten al zien dat meer tropische stormen zoals Ophelia in de toekomst richting Europa zullen trekken. Bereiken deze stormen ook Nederland? In deze studie vergelijken we de zwaarste stormen die Nederland aandoen uit de modelsimulaties van EC-Earth op T159 en T799 resolutie om de visie van KNMI'14 scenario's op het toekomstig stormklimaat te toetsen.

Data en methode – het model

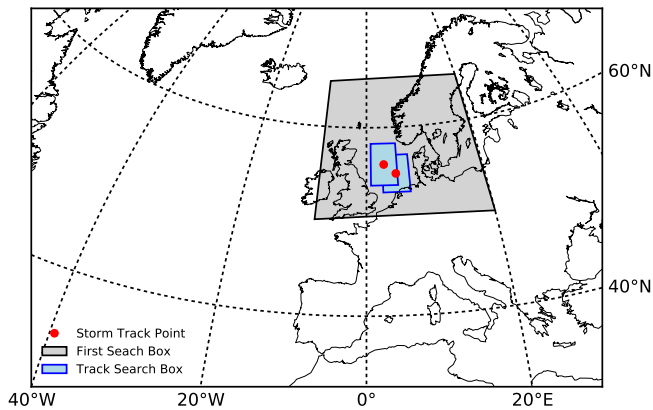
Voor dit onderzoek gebruiken we het klimaatmodel EC-Earth versie 2.3, waarbij de atmosfeer het *Integrated Forecast System (IFS)* van het *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* is. Dit is hetzelfde model dat gebruikt wordt voor de weersverwachting, maar aangepast aan de langere klimaattijdschalen. De simulatie van het huidige klimaat (begin 21^e eeuw) wordt aangestuurd met waarnemingen van onder meer de aerosolconcentratie, de concentratie CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer en de zeewatertemperatuur. Voor het toekomstige klimaat (eind 21^e eeuw) wordt het RCP4.5 scenario gebruikt voor broeikasgassen en aerosolen. In dit scenario pieken de broeikasgasemissies in 2040. De zeewatertemperatuur is gebaseerd op eerdere toekomstsimulaties van gekoppelde modellen.

De simulaties bestaan uit een ensemble met zes leden van elk vijf jaar in het huidige (2002-2006) en vijf jaar in het toekomstige (2094-2098) klimaat, met als resultaat 30 gesimuleerde jaren voor elke periode. Alle simulaties zijn gedaan op zowel lage (T159) als hoge (T799) resolutie. De resultaten worden ook vergeleken met de ERA-Interim reanalysis over de periode 1985-2015 (30 jaar in totaal).

Data en methode – stormen en het volgen van stormen

Stormen worden gedetecteerd op basis van 3-uurlijkse windsnelheid, gemiddeld over Nederland (3.5-7.5°E, 50.5-53.5°N). De drempelwaarde voor een storm is gebaseerd op gegevens van ERA-Interim en gerelateerd aan het 90^e, 95^e en 99^e percentiel van 3-uurlijkse windsnelheid (afhankelijk van de sterkte van de storm die we willen bekijken). Als de gesimuleerde windsnelheid tenminste twee tijdstappen boven deze drempelwaarde uitkomt, spreken we van een storm. Het winterhalfjaar (het stormseizoen, oktober-maart) en het zomerhalfjaar (april-september) zijn in deze analyse apart bekeken.

Naast de sterkte en frequentie van de stormen is het van belang om veranderingen in de positie van de stormbanen vast te stellen met behulp van een 'tracking algoritme'. Na de stormdetectie op basis van de windsnelheid, spoort het

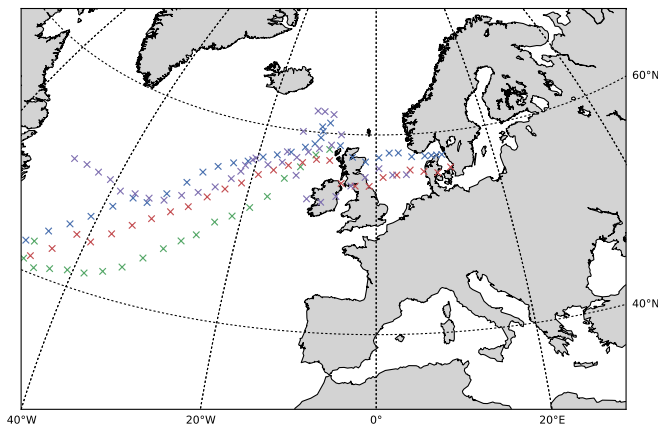


Figuur 2. Illustratie van het traceren van de stormbaan. Eerst wordt binnen het grijze gebied gezocht naar een luchtdrukminimum tijdens de detectie van een windextreem in Nederland. Dit extreem, de rode stip, wordt terug in de tijd gevolgd door het drukminimum te zoeken in de vorige tijdstap, binnen het blauwe gebied. Dit terug stappen in de tijd wordt volgehouden 1) tot een maximum van 7 dagen, of 2) tot de stormbaan buiten de Noord Atlantische oceaan komt of 3) tot het luchtdrukminimum boven 1000 hPa uitkomt.

algoritme het dichtstbijzijnde minimum in de luchtdruk (op zeeniveau) op en volgt dit terug in de tijd tot maximaal 7 dagen. Figuur 2 illustreert dit proces. Op deze manier reconstrueren we alleen de paden van lagedrukgebieden die de sterkste gemiddelde windsnelheden veroorzaken over Nederland. Figuur 3 geeft een voorbeeld van vier gereconstrueerde stormbanen van de top 2% sterkste januari windsnelheden binnen één ensemble lid van de EC-Earth T799 simulatie. In deze figuur zien we de natuurlijke spreiding die past bij de route die verschillende stormen nemen op hun tocht over de Atlantische oceaan naar Europa.

Minder zware stormen

De verdeling van de 3-uurlijkse windsnelheid, gemiddeld over Nederland, is weergegeven in Figuur 4. De drempelwaarden voor de top 2%, 5% en 10% van de windsnelheden zijn aangegeven met verticale lijnen. Wat direct opvalt in Figuur 4 is dat de gemiddelde windsnelheid uit de T799 simulatie bijzonder dicht bij de waarden van ERA-Interim ligt, en dat de verdeling van het T159 model daar sterk van afwijkt. Het is duidelijk dat de T159 simulatie de hogere windsnelheden (> 9.4 m/s) onderschat en vaker een meer gemiddelde windsnelheid (3.5



Figuur 3. Vier willekeurige voorbeelden van stormbanen van januaristormen in één ensemble lid, over de modeljaren 2002-2006. De T799 EC-Earth simulatie is gebruikt, en alleen stormen die voor de 2% sterkste stormwind zorgen zijn getraceerd. De kleurcodering in de legenda laat de eerste en de laatste (3-uurlijkse) tijdstap zien.

– 6 m/s) laat zien.

Specifiek voor de zwaardere windsnelheden vanaf het 90^e percentiel zien we dat ERA-Interim en de T799 simulatie voor het huidige klimaat niet significant verschillen voor het zomerseizoen maar het verschil haalt bijna de 5% significantiegrens voor het winterseizoen. De hoge-resolutie versie van EC-Earth lijkt dus de klimatologie van extreme windsnelheden realistischer te modelleren dan de standaard resolutie versie.

Een vergelijking tussen het klimaat van 2100 en het huidige klimaat laat zien dat de gemiddelde windsterkte in de T799 simulaties afneemt tijdens stormen. In het toekomstige stormseizoen is de frequentie van stormen uit het 90^e percentiel significant verminderd in beide resoluties. In het zomerseizoen zien we een significante afname alleen optreden in de hoge-resolutie simulatie en niet in de T159 simulatie. In een eerdere studie met CMIP5 modellen (met een gemiddelde resolutie van T106) vond Carvalho et al. (2017) ook een afname in windsnelheid voor het toekomstige klimaat, waarbij onze analyse aansluit. Het lijkt er dan ook op dat de afname van de windsnelheid een dynamische oorzaak heeft.

Afname in aantal, toename in variabiliteit

Figuur 5 illustreert het aantal stormen per 5 jaar uit de ERA-Interim reanalysis en de simulaties. Opvallend is dat het aantal stormen in de T799 simulatie vergelijkbaar is met ERA-Interim en dat de stormactiviteit in de T159 simulatie duidelijk een stuk minder is. De onderschatting van stormactiviteit in het winterseizoen is voor deze simulatie zo sterk dat de verdeling van het aantal gesimuleerde stormen zelfs buiten de verdeling van ERA-Interim valt.

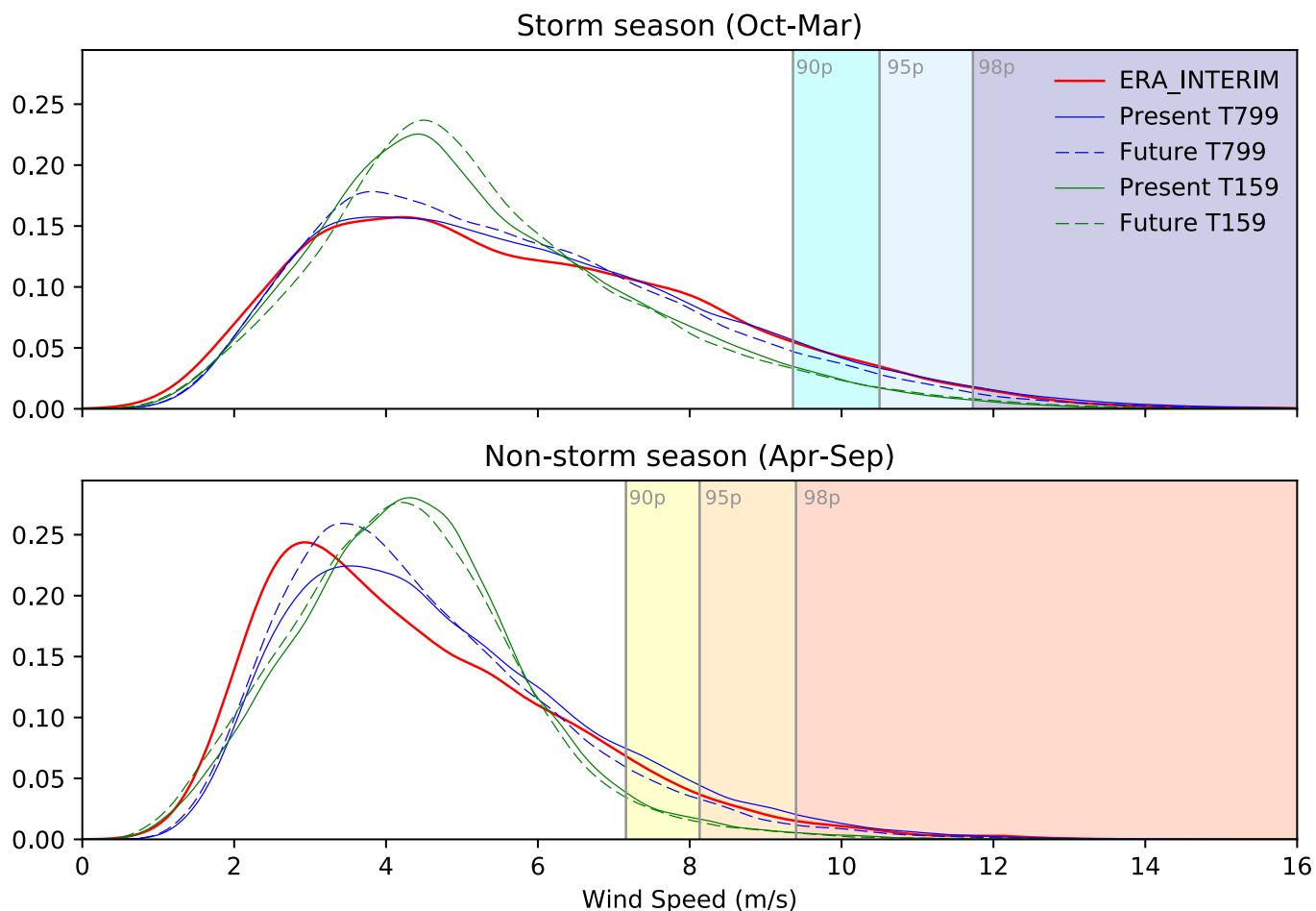
De T799 simulatie laat voor het toekomstig klimaat een afname zien in het aantal stormen voor het winter- en het zomerseizoen; voor het 95^e percentiel en in het zomerseizoen is de afname 22% en significant, voor het winterseizoen is de afname in deze sterke stormen iets groter, maar haalt het 5% significantieniveau niet. Hoewel de spreiding in de T799 simulatie voor het toekomstige klimaat wel groot is – de interjaarlijkse variabiliteit in het aantal stormen is veel groter dan in de T159 simulatie – is de afname robuust voor het 90^e, 95^e en 98^e percentiel. Ook de T159 simulatie laat minder stormen zien in de toekomstsimulatie van het stormseizoen voor het 90^e percentiel, maar voor de zwaardere stormen uit het 95^e en 98^e percentiel is dit niet het geval.

Geen toename van noordwesterstormen

Voor de kustverdediging is het van essentieel belang te weten uit welke hoek de wind waait. Een storm uit noordwestelijke richting kan door de lange 'fetch' over de Noordzee en de oriëntatie van de Nederlandse kust loodrecht op de wind een grotere windopzet geven dan een zuidwesterstorm. We hebben expliciet gekeken of een verschuiving van de windrichting gedurende de zwaarste stormen in een veranderend klimaat waarschijnlijk is.

Het windroosdiagram van Figuur 6 geeft aan dat de windrichting in de T799 simulatie en ERA-Interim niet significant van elkaar verschillen, zowel voor het winter- als het zomerseizoen. De T159 simulatie verschilt wel significant van ERA-Interim. Figuur 6 laat vooral zien dat slechts 6% van de stormen uit noordelijke of noordwestelijke richting komen en daar lijkt in de toekomst geen verandering in te komen voor zowel T159 als T799.

De T799 simulatie voor het klimaat van 2100 verschilt niet wezenlijk van die voor het huidige klimaat. De overheersende



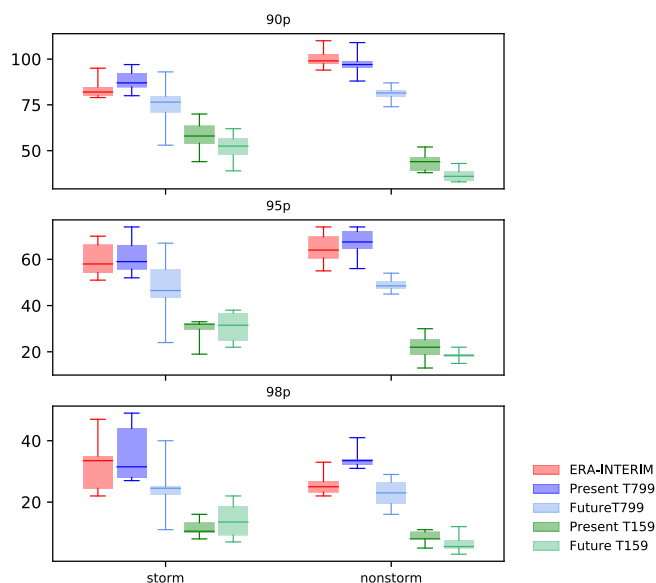
Figuur 4. De waarschijnlijkheidsverdeling van de 3-uurlijkse windsnelheid gemiddeld over Nederland, voor het winterseizoen en het zomerseizoen. De rode lijn geeft de verdeling van de ERA-Interim reanalysis weer, de blauwe en groene lijnen die van EC-Earth in respectievelijk de T799 en T159 resolutie voor het huidige (getrokken lijn) en het toekomstige (onderbroken lijn) klimaat.

windrichting voor de sterkste stormen blijft zuidwest. Dit is in lijn met de conclusie van De Winter et al. (2013) die eerder al opmerkte dat stormen die voor de grootste windopzet zorgen niet talrijker worden in een warmer klimaat. Ook zien we in Figuur 6 een bescheiden verschuiving van stormen met een oost-noordoost component naar west-zuidwest, zoals eerder gerapporteerd door Sterl et al. (2009).

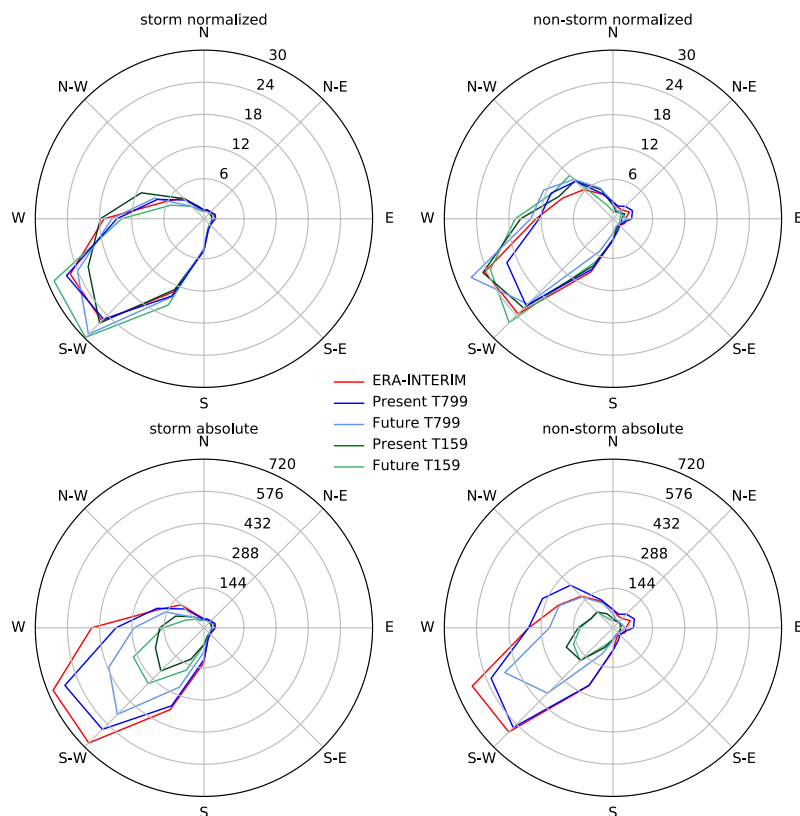
Nauwelijks verschuiving van stormbanen

Om duidelijkheid te krijgen of er verschillen zijn in de afgelegde paden van stormen die Nederland bereiken tussen de T799 en T159 simulaties, is in Figuur 7 de mediaan en de spreiding in de positie van de stormbanen geplott. Vergelijkingen tussen T799 en T159 resolutie en tussen huidig en toekomstig klimaat geven aan dat er niet echt sprake is van een verschuiving van de stormbanen. De verschillen zijn niet statistisch significant, met uitzondering van het verschil in de T799 simulatie tussen huidig en toekomstig klimaat voor het zomerseizoen. Voor dit geval blijkt de cyclogenese noordelijker (62°N) te zijn dan in het huidige klimaat (52°N). Deze verandering is niet zichtbaar in de T159 simulatie.

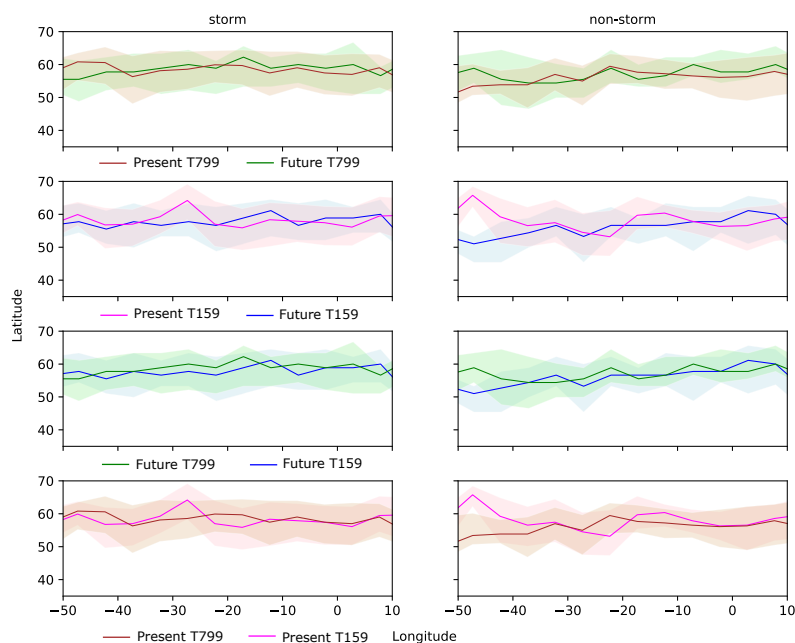
Hoewel het beeld is dat de positie van de stormbanen realistischer gemodelleerd zijn in de T799 simulatie (van Haren et al., 2015; Zappa et al., 2013) zien we in Figuur 7 weinig verschillen tussen de hoge en de lage resolutie simulatie. Ook de noordwaartse verschuiving van de stormbanen die in eerdere studies is opgemerkt, blijft hier achterwege. Het kan zijn dat dit het gevolg is van de exclusieve focus op stormen die Nederland bereiken in plaats van het beschouwen van alle



Figuur 5. In deze boxplot kijken we naar het totaal aantal stormen per jaar voor de drie verschillende percentielen (90p, 95p en 98p). Elke boxplot bestaat uit zes datapunten, namelijk de zes verschillende ensembles. Elk datapunt is het vijfjaarlijkse gemiddelde van het totaal aantal stormen dat per jaar voorkomt. Te zien is het winterseizoen (links) en het zomerseizoen (rechts). De 'box-and-whiskers' geven de volledige spreiding tussen de zes verschillende leden weer, de box geeft de grenzen van het 25^e en 75^e percentiel aan. De mediaan is de horizontale lijn in de boxplot.



Figuur 6. Windroos diagram voor windrichting op basis van 3-uurlijkse gegevens voor ERA-Interim en de simulaties van EC-Earth met T799 (blauw) en T159 (groen). De linkerkolom is voor het winterseizoen, de rechterkolom voor het zomerseizoen, en de bovenste rij geeft waarden relatief ten opzichte van de totale hoeveelheid gesimuleerde stormen (%), de onderste rij voor het absolute aantal.



Figuur 7. De positie van de stormbanen van de sterkste stormen die Nederland bereiken is hier weergegeven. Voor elke lengtegraad is de mediaan van de gesimuleerde stormbanen berekend en weergegeven als de doorgetrokken lijn. Het 20^e en 80^e percentiel van de verdeling van de stormbanen geeft de variabiliteit in de positie van de stormbanen weer. De bovenste rij vergelijkt simulaties tussen het T799 en T159 model voor het huidige klimaat, de rij daaronder voor het toekomstige klimaat. Een vergelijking tussen het huidige en toekomstige klimaat voor het T159 model is weergegeven in de derde rij en voor de T799 simulatie in de vierde rij. De linker kolom geeft resultaten voor het winterseizoen, de rechterkolom voor het zomerseizoen.

stormen die de Noord-Atlantische oceaan oversteken.

Conclusie

Duidelijk is dat de hoge-resolutie T799 simulatie een veel realistischer beeld geeft van de sterkte en de frequentie van de stormen die Nederland bereiken. Er is nauwelijks verschil tussen de stormen uit de ERA-Interim reanalysis en die van de simulatie voor het huidige klimaat. Het contrast met de onderschatting in de T159 simulatie die (mede) gebruikt is voor de KNMI'14 scenario's is groot, en geeft vertrouwen in de hoge-resolutie simulatie.

De KNMI'14 klimaatscenario's blijven deels overeind

Blijven de resultaten van de KNMI'14 klimaatscenario's overeind in de zin dat het wind- en stormklimaat grote natuurlijke variaties kent en dat veranderingen in de windsnelheid klein zijn? Er is geen reden gevonden om te denken dat de natuurlijke variaties in de sterkte of het aantal stormen af zal nemen. Op basis van de hoge-resolutie simulatie lijkt het zelfs dat de variabiliteit in het aantal stormen zal toenemen in het klimaat van 2100 (Figuur 5). Wat de hoge-resolutie simulaties ook laten zien is dat de hoeveelheid gesimuleerde winterstormen per jaar in het toekomstige klimaat duidelijk lager ligt dan in het huidige klimaat (Figuur 5). De frequentie van de windsnelheden die in het huidige klimaat tot de 10% sterksten hoort, neemt in het gesimuleerde 2100 klimaat af – al is deze afname klein en net significant op het 10% niveau (Figuur 4). Voor het zomerseizoen is de daling sterker en duidelijker, rekening houdend met het feit dat we hier alleen naar grootschalige systemen hebben gekeken en dus niet naar convectieve stormen. Een verandering in de windrichting van de sterkste stormen of in de baan die deze stormen nemen in hun tocht naar Nederland is niet of nauwelijks gevonden. Vervolgonderzoek met meerdere hoge-resolutie modellen zal moeten uitwijzen of deze resultaten robuust zijn.

Referenties

- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., & Santos, C. S. (2017). Potential impacts of climate change on European wind energy resource under the CMIP5 future climate projections. *Renewable Energy*, 101, 29-40.
- De Winter, R. C., Sterl, A., & Ruessink, B. G. (2013). Wind extremes in the North Sea Basin under climate change: An ensemble study of 12 CMIP5 GCMs. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1601-1612.
- Haarsma, R. J., Hazeleger, W., Severijns, C., De Vries, H., Sterl, A., Bintanja, R., van Oldenborgh, G. J. en van den Brink, H. W. (2013). More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters*, 40(9), 1783-1788.
- Sterl, A., Brink, H. V. D., Vries, H. D., Haarsma, R., & Meijgaard, E. V. (2009). An ensemble study of extreme storm surge related water levels in the North Sea in a changing climate. *Ocean Science*, 5(3), 369-378.
- Van Haren, R., Haarsma, R. J., Van Oldenborgh, G. J., & Hazeleger, W. (2015). Resolution dependence of European precipitation in a state-of-the-art atmospheric general circulation model. *Journal of Climate*, 28(13), 5134-5149.
- Zappa, G., Shaffrey, L. C., & Hodges, K. I. (2013). The ability of CMIP5 models to simulate North Atlantic extratropical cyclones. *Journal of Climate*, 26(15), 5379-5396.

Arctisch variabiliteit in warme en koude klimaten

JESSE REUSEN (KNMI, IMAU), EVELINE VAN DER LINDEN (KNMI), RICHARD BINTANJA (KNMI, RUG)

De laatste decennia is de aarde gemiddeld opgewarmd met zo'n 0.17 °C per decennium (Hansen et al., 2010). Naast deze trend zijn er ook schommelingen in bijvoorbeeld de temperatuur, als gevolg van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat. Deze variaties spelen zich af op allerlei tijdschalen, van verschillen tussen dag en nacht tot verschillen tussen seizoenen of zelfs tussen meerdere jaren (de langjarige variaties). Maar waar komen deze variaties vandaan en hoe verandert deze variabiliteit in een warmere of koudere wereld? In dit artikel gebruiken we het KNMI klimaatmodel EC-Earth om variaties in het Arctisch gebied op interjaarlijkse (<10 jaar) tijdschalen en over decennia (>10 jaar) te bestuderen. Ook proberen we mogelijke oorzaken van deze fluctuaties te achterhalen en verschillen in variabiliteit tussen koude en warme klimaten te karakteriseren.

De simulaties met het klimaatmodel EC-Earth

Voor het bestuderen van interjaarlijkse en decadale klimaatvariabiliteit zijn metingen over een lange tijd (minstens enkele honderden jaren) nodig. Dit soort lange reeksen observaties bestaan helaas (nog) niet, zeker niet voor het noordpoolgebied, en daarom wenden we ons tot klimaatmodellen. Met het EC-Earth klimaatmodel zijn 550 jaar lange simulaties gedaan voor vijf verschillende, hypothetische, klimaten met 0.25x, 0.5x, 1x, 2x en 4x de atmosferische CO₂ concentratie zoals die in het jaar 2000 was. In feite zijn er dus twee koude klimaten en twee warme klimaten gesimuleerd, tezamen met het huidige klimaat. In deze simulaties wordt de CO₂ concentratie constant gehouden; na ongeveer 100 jaar simulatie kunnen we aannemen dat de diverse klimaten in quasi-evenwicht zijn (Figuur 1). Wat tevens te zien is in deze tijdreeksen is dat er natuurlijke variaties aanwezig zijn in de jaargemiddelde temperatuur, en dat de amplitude van deze variabiliteit toeneemt naarmate het klimaat kouder is. Dit is een interessant gegeven – kennelijk is de (natuurlijke) variabiliteit afhankelijk van de gemiddelde toestand van het klimaat.

De rol van het zee-ijs

Dat de variabiliteit afhankelijk is van de toestand van het klimaat wordt duidelijk als we de verdeling van de jaargemiddelde zee-ijs bedekking bekijken (Figuur 2). In het koudste klimaat, hier aangeduid met 0.25xCO₂, is de volledige Arctische Oceaan bedekt met zee-ijs, in tegenstelling tot het warmste klimaat (4xCO₂) waarin helemaal geen zee-ijs aanwezig is. Dit heeft grote invloed op de uitwisseling van warmte tussen de atmosfeer en de oceaan. In een wereld waarin de Arctische Oceaan volledig bedekt is met zee-ijs zit er in feite een dikke isolatielaag tussen de atmosfeer en de oceaan. Omdat de bufferwerking van de oceaan hierdoor grotendeels is uitgeschakeld, zijn de variaties van de temperatuur in de atmosfeer relatief groot. Daarnaast is de zee-ijsbedekking ook van invloed op het albedo. De oceaan weerkaatst slechts 6 procent van de inkomende zonnestraling, terwijl dit percentage bij zee-ijs tussen de 50 en 70 procent ligt. Wanneer er meer zee-ijs aanwezig is, worden kleine variaties in de atmosferische condities makkelijker versterkt. Immers, in een warmer klimaat ligt minder zee-ijs, waardoor er meer warmte wordt opgenomen en de aarde verder opwarmt.

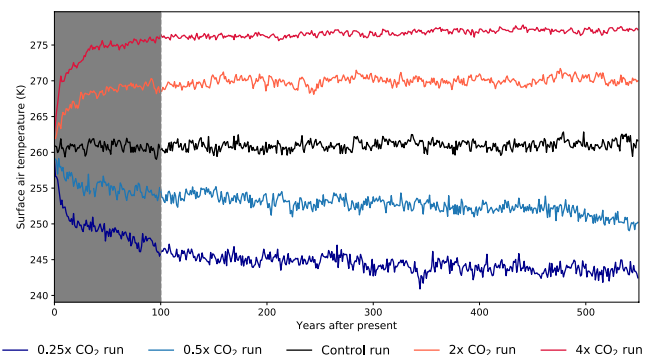
Klimaatafhankelijkheid

Om de klimaatafhankelijkheid verder te onderzoeken hebben we de standaarddeviatie (een maat voor de klimaatvariaties) van verschillende relevante variabelen weergegeven in Figuur 3. Hierin zijn de interjaarlijkse (< 10 jaar) en decadale (≥ 10 jaar) variaties apart van elkaar bekeken. In

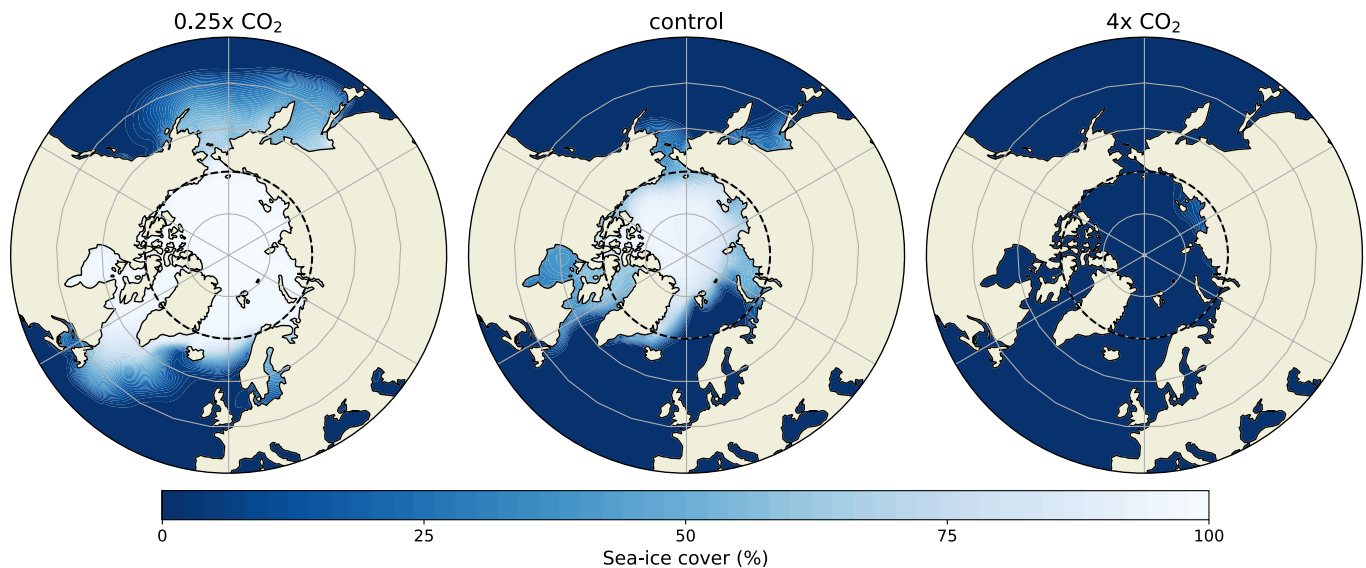
het algemeen geldt voor de temperatuur nabij het aardoppervlak (SAT) dat de standaarddeviatie afneemt als het klimaat warmer wordt. Dezelfde conclusie is gevonden door Rehfeld et al. (2018), die temperatuurproxies van het laatste glaciële maximum (~21 duizend jaar geleden) tot het Holoceen (de laatste 11 duizend jaar) hebben bepaald. Als we naar het zee-ijsoppervlak (SIA) kijken, zien we dat de decadale variabiliteit groter is dan de interjaarlijkse variabiliteit. Ook hier is een toename te vinden als het klimaat kouder wordt, met name in de decadale variabiliteit. De variabiliteit is erg klein in het warmste klimaat, simpelweg omdat hier het hele jaar door geen zee-ijs meer aanwezig is (zie Figuur 2).

De warmte/stralings fluxen aan het oppervlak en aan de top van de atmosfeer (F_{sf} en F_{toa}) geven meer informatie over de toevoer of afvoer van energie en warmte in het Arctisch gebied. Hierin is de flux aan de top van de atmosfeer de netto flux van de in- en uitgaande kortgolfige en langgolfige straling. Variaties hierin geven aan in hoeverre deze toevoer fluctueert. In Figuur 3 zien we dat de instraling aan de bovenkant van de atmosfeer (F_{toa}) nagenoeg dezelfde variatie vertoont voor elk klimaat. Bij de oppervlaktefluxen neemt vooral de interjaarlijkse variabiliteit toe, vermoedelijk veroorzaakt door het feit dat het ijs in een warmer klimaat dunner is. Dit dünnere ijs maakt een grotere flux door het oppervlak mogelijk. Hierdoor kunnen er ook grotere variaties in deze F_{sf} plaatsvinden. Bij zowel F_{sf} als F_{toa} is de amplitude van de interjaarlijkse variabiliteit groter dan die van de decadale variabiliteit.

Figuur 3 laat ook de variaties in het noordwaartse warmtetransport in de atmosfeer (AHT) en in de oceaan (OHT) door 70°N zien. Deze transporten geven aan hoeveel warmte er gemiddeld door de atmosfeer en de oceaan het Arctisch



Figuur 1. Tijdreeksen van de temperatuur in het Arctisch gebied (70-90°N) in de verschillende klimaten gesimuleerd door het klimaatmodel EC-Earth. De laatste 450 jaar zijn de klimaten in quasi-evenwicht. In dit artikel richten we ons op de fluctuaties die aanwezig zijn in deze zogenaamde evenwichtsklimaten.



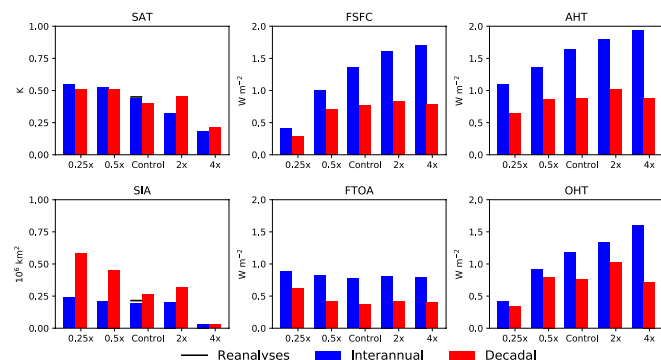
Figuur 2. De jaargemiddelde zee-ijsbedekking voor het koudste, warmste en huidige klimaat. In het koudste klimaat is de volledige Arctische Oceaan bedekt met zee-ijs, terwijl er in het warmste klimaat helemaal geen zee-ijs meer aanwezig is.

gebied binnenkomt of uitgaat. Ook hier is de interjaarlijkse variabiliteit groter dan de decadale variabiliteit. Tevens neemt de interjaarlijkse variabiliteit toe wanneer het klimaat warmer wordt. Dit kan als volgt verklaard worden: in een warmer klimaat kan de atmosfeer meer vocht vasthouden, waardoor de variaties in de toevoer groter kunnen zijn. Er is dan een groter verschil tussen geen of weinig vocht en volledige saturatie. Op dezelfde manier kunnen variaties in het transport door de oceaan groter zijn, aangezien de oceaan zelf meer warmte bevat wanneer het klimaat opwarmt. Daarnaast kunnen ook veranderingen in de circulatie en dynamica (zowel in de atmosfeer als in de oceaan) zorgen voor een toename of afname van de variabiliteit.

Mogelijke oorzaken van de variabiliteit

In dit artikel wordt de variabiliteit in de temperatuur (SAT) gelinkt aan variaties in de fluxen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen het transport door de atmosfeer en door de oceaan. Beide kunnen warmte toe- of afvoeren. Om het verschil in de stralingsbalans tussen de evenaar (positief) en de polen (negatief) te compenseren, voeren zowel de atmosfeer als de oceaan gemiddeld gezien warmte toe aan het Arctisch gebied.

Hier zijn we geïnteresseerd in de variaties in deze transporten. Een manier om te kijken naar het effect van variaties

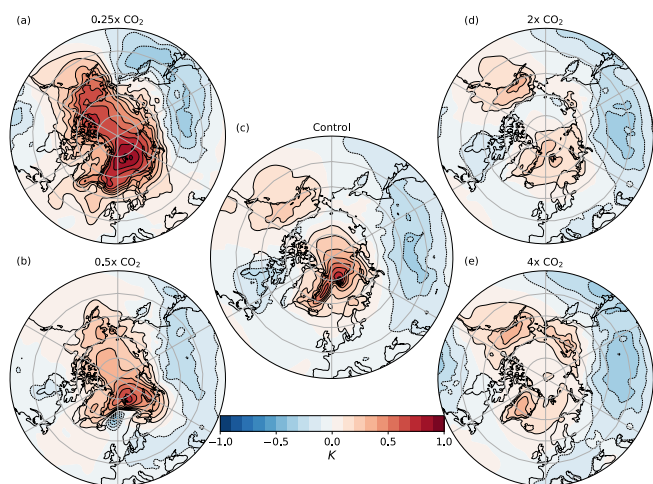


Figuur 3. Standaarddeviatie van de gemiddelde temperatuur (SAT) in het Arctische gebied (70-90°N), het zee-ijs oppervlak (SIA, in 10^6 km^2), de netto flux aan het oppervlak (Fsfc) en aan de top van de atmosfeer (Ftoa) beide in W m^{-2} . Als laatste zijn ook de standaarddeviaties van het warmtetransport door de atmosfeer (AHT) en de oceaan (OHT) weergegeven.

in het atmosferisch transport op de variaties in de temperatuur in het Arctisch gebied is door regressiekaarten te maken. In deze kaarten is te zien hoeveel opwarming (of afkoeling) één typische variatie (standaarddeviatie) in het transport heeft op een bepaalde locatie in het Arctisch gebied. Figuur 4 laat het effect zien van interjaarlijkse variaties in het atmosferisch transport op de temperatuur. Over het algemeen zijn er positieve waarden te vinden in het Arctisch gebied (70-90°N). Dit betekent dat een hogere temperatuur in het Arctisch gebied samenhangt met een hogere warmtetoevoer door de atmosfeer. De waarden in Figuur 4 zijn gegeven in Kelvin en geven aan hoeveel warmer (of kouder) het ergens is als er een positieve anomalie van één standaarddeviatie in het atmosferisch transport aanwezig is. Intuïtief gezien zijn positieve waarden logisch. We zien echter een ander beeld wanneer we kijken naar decadale variaties (Figuur 5). Ook hier zien we een regressie van de temperatuur op het atmosferisch transport, alleen zijn er nu voornamelijk negatieve waarden te zien. Dit wordt veroorzaakt door een proces dat bekend staat als Bjerknes compensatie. De decadale variaties in de temperatuur worden namelijk veroorzaakt door de oceaan en niet door de atmosfeer. De hogere temperaturen in het Arctisch gebied verkleinen het verschil in temperatuur tussen de evenaar en de polen, de voornaamste drijfveer van het atmosferisch transport. Wanneer dit verschil kleiner wordt, gaat dit gepaard met lagere waarden in het atmosferisch transport. Om deze reden wordt een hogere waarde in de temperatuur voor decadale variaties geassocieerd met een negatieve anomalie in het atmosferisch transport. De enige uitzondering is het allerkoudste klimaat, waar nog positieve waarden te vinden zijn. Dit komt doordat het hele gebied dat we bekijken (70-90°N) bedekt is met zee-ijs, waardoor de warmtetoevoer door de oceaan niet doorgegeven kan worden aan de atmosfeer. Hierdoor kan het atmosferisch warmtetransport ook bij langere, decadale, variaties worden gelinkt aan temperatuurschommelingen in het Arctisch gebied.

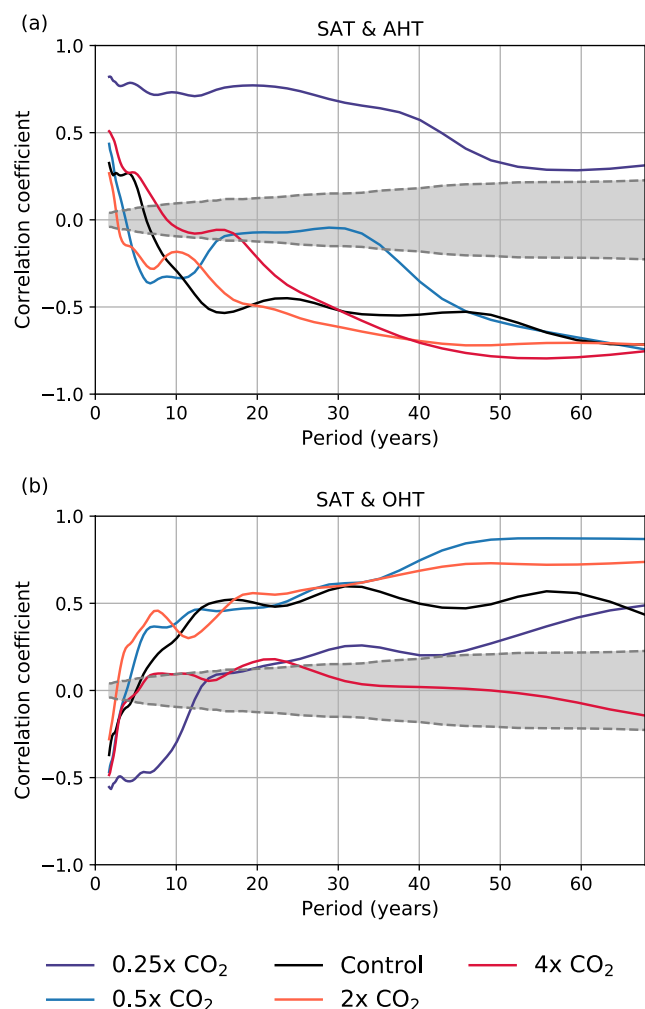
De atmosfeer-oceaan transitie

Het atmosferisch transport kan dus worden gelinkt aan temperatuurschommelingen op korte tijdschalen (< 10 jaar) en het oceanisch transport aan de schommelingen op lange tijdschalen (≥ 10 jaar). Dit betekent dat er ergens een overgang plaats vindt. De vraag is: kunnen we deze transitie kwantificeren?

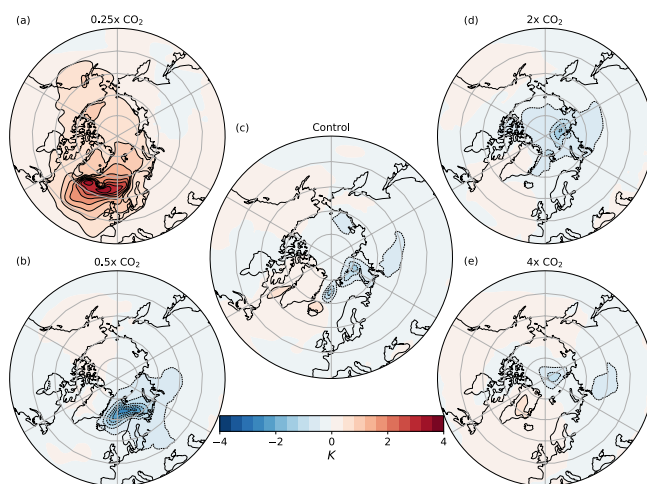


Figuur 4. Regressiekaarten van de temperatuur (SAT) op het atmosferisch transport door 70°N voor interjaarlijkse variaties. De waarden zijn geschaald met de standaarddeviatie van het atmosferisch transport, om het effect van één standaarddeviatie op de temperatuur te illustreren.

Het zou mooi zijn als we kunnen vinden bij welke periodiciteit dit plaatsvindt en of deze afhankelijk is van het achtergrondklimaat. Dit blijkt mogelijk en deze transitie is in Figuur 6 weergegeven. De frequenties zijn gefilterd door een zogenaamd band-pass filter, waarbij alleen bepaalde frequenties



Figuur 6. Correlaties tussen de temperatuur en het atmosferisch en oceanisch warmtetransport door 70°N als functie van de periodiciteit. De correlaties die in het grijze gebied vallen zijn niet significant.



Figuur 5. Regressiekaarten van de temperatuur op het atmosferisch transport door 70°N, zoals in Figuur 4, maar nu voor decadale variaties.

doorgelaten worden. Dit filter is steeds een stukje verschoven, zodat we uiteindelijk een vrijwel continu spectrum krijgen. We zien dat Figuur 6a bevestigt wat we al eerder zagen. De correlaties tussen de temperatuur en het atmosferisch transport zijn positief voor kleinere tijdschalen, en negatief voor de tijdschalen groter dan 10 jaar. Daarnaast is te zien dat de correlaties tussen de temperatuur en het atmosferisch transport in het koudste klimaat positief blijven, iets wat ook al te zien was in Figuur 5a. Figuur 6b laat de correlaties zien tussen de temperatuur en het oceanisch transport. Deze beginnen negatief en worden positiever naarmate de tijdschaal groter wordt. In het koudste klimaat zijn deze correlaties slechts marginaal significant. Dit kan worden verklaard door de isolerende werking van het zee-ijs dat in overvloed aanwezig is in dit koude klimaat (zie hiervoor de sectie over het zee-ijs en Figuur 2). Verder is ook de afwezigheid van significante correlaties in het warmste klimaat opvallend. In dit klimaat is er geen zee-ijs meer, waardoor de oppervlaktetemperatuur van het oceaanaanwater (veel) hoger kan worden dan in de andere vier klimaten. Mogelijk is dit van invloed op de stabiliteit van de oceaan en de verticale menging. Een gelimiteerde verticale menging kan op haar beurt weer van invloed zijn op het doorgeven van de warmte van de oceaan naar de atmosfeer. Dit is op het moment van schrijven echter nog een hypothese.

Op korte tijdschalen kan het poolwaartse atmosferisch warmtetransport dus geassocieerd worden met temperatuurschommelingen in het Arctisch gebied. Voor variaties op lange tijdschalen (≥ 10 jaar) is het noordwaartse transport door de oceaan bepalend. Een belangrijke rol is weggelegd voor zee-ijs, dat de mate van interactie tussen de atmosfeer en de oceaan moduleert en daarmee dus ook de invloed die de atmosfeer of de oceaan op temperatuurschommelingen uit kunnen oefenen. In een wereld die verder opwarmt is het belangrijk om goed inzicht te krijgen in de niet-antropogene (natuurlijke) variabiliteit en de oorzaken en veranderingen hierin. Hierdoor kunnen trends worden onderscheiden van natuurlijke klimaatschommelingen en krijgen we een beter beeld van de klimaatverandering.

Referenties

James Hansen, Reto Ruedy, Mki Sato, Ken Lo. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 48(4), 2010.

Kira Rehfeld, Thomas Münch, Sze Ling Ho, Thomas Laepple. Global patterns of declining temperature variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Nature*, 554(7692), 356, 2018.



Universiteit Utrecht

Climate Physics

Master's Programme at Utrecht University, The Netherlands

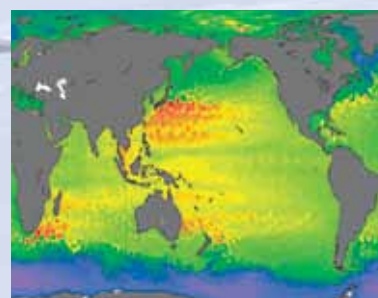
This Master's programme offers a unique combination of theoretical courses and practical training in all aspects of the climate system. Physics, dynamics and chemistry of the atmosphere, the oceans, the glaciers and ice sheets and their interaction are the core of this programme.

Our research fields:

- Ocean Circulation and Climate
- Physical Oceanography of the Coastal Zone
- Atmospheric Dynamics and the Hydrological Cycle
- Atmospheric Physics and Chemistry
- Ice and Climate

More information:

Utrecht University, The Netherlands
Institute for Marine and Atmospheric Research
www.uu.nl/masters/climate



Het stormgetal

SANDER TIJM (KNMI)

Stormen zorgen voor veel schade, overlast en soms ook persoonlijk letsel. Een goede indicatie van de zwaarte van een storm is belangrijk voor het kunnen inschatten van de impact van een storm. In dit artikel wordt een stormgetal beschreven, bepaald op basis van de windstoten ten opzichte van de klimatologie, waarmee de sterkte van stormen gekarakteriseerd kan worden, en waarmee modelverwachtingen onderling vergeleken kunnen worden, en in historisch perspectief kunnen worden geplaatst.

Op het moment dat een storm nog over het land raast worden tegenwoordig al vergelijkingen gemaakt van de sterkte van de storm ten opzichte van stormen uit het verleden. Stormen worden op het KNMI beoordeeld met behulp van de gemiddelde (potentiële) windsnelheid, maar deze methode is (nog) niet beschikbaar voor ‘real time’ monitoren van de sterkte van een storm. In dit artikel wordt een nieuwe maat voor een storm beschreven die actueel, op basis van de waarnemingen, kan worden bijgehouden en een direct inzicht geeft in de sterkte van de storm. Ook kan de maat als forecast- en verificatietool gebruikt worden door een berekening te maken op basis van modeluitkomsten. Door de stormverwachting met vroegere stormen te vergelijken kan ook een ruwe inschatting van de mogelijke impact die een storm zou kunnen hebben worden gemaakt. De eisen waaraan dit stormgetal moet voldoen zijn a) makkelijk en snel te berekenen, en b) representatief voor de impact van een storm. Het zou mooi zijn als de ranglijst op basis van dit getal zoveel mogelijk overeenkomt met die gebaseerd op eerder gepubliceerde potentiële (gemiddelde) wind van het KNMI, omdat het dan een snel alternatief biedt dat ook representatief is ten opzichte van het verleden en eerder gehanteerde lijsten.

De impact (schade en invloed op bijvoorbeeld het verkeer en vervoer) van een storm wordt niet zozeer veroorzaakt door de gemiddelde wind, maar door de windstoten. De samenle-

ving en de natuur zijn ‘ingesteld’ op een bepaalde hoeveelheid wind afhankelijk van de klimatologie van het betreffende gebied. De impact van een storm is daarom afhankelijk van de sterkte van de windstoten ten opzichte van de windstotenklimatologie, wat betekent dat windstoten van bijvoorbeeld 30 m/s landinwaarts een veel grotere impact zullen hebben dan aan de kust. Figuur 1 (Wever, 2009) laat zien dat de sterkte van een windstoot met een herhalingsjijd van twee jaar landinwaarts sterk afneemt (van 32-33 m/s naar ongeveer 26 m/s). Deze windstoten komen voornamelijk voor tijdens stormen in het winterhalfjaar.

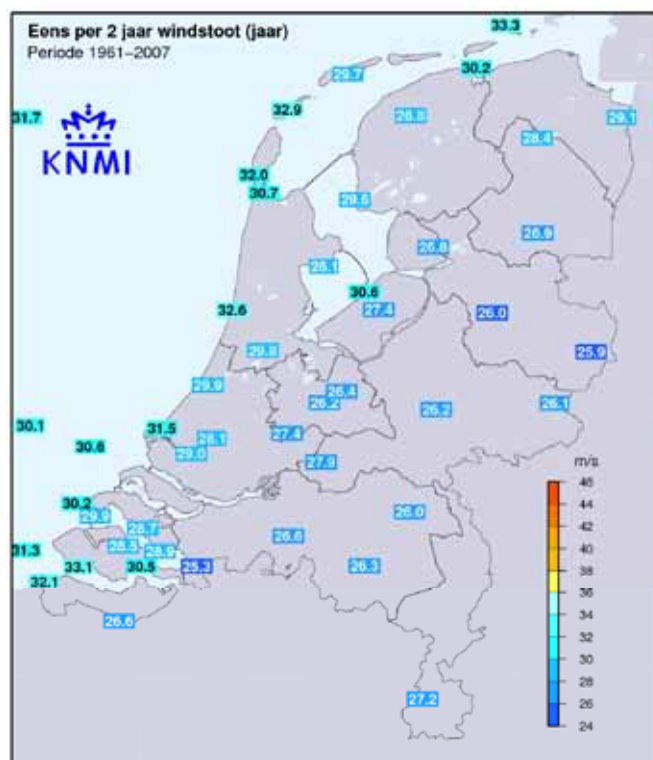
Vanwege de sterke ruimtelijke gradiënten in de verdeling van de windstotenklimatologie kunnen we de impact van een storm in het stormgetal niet definiëren ten opzichte van een vaste waarde. Bij een vaste drempelwaarde van bijvoorbeeld 30 m/s wordt de impact van een storm overschat aan de kust maar verder landinwaarts juist onderschat. Een drukpatroon met een drukgradiënt die overal in Nederland hetzelfde is zal bij een aanlandige wind in de kuststreken door de lagere ruwheid boven zee meer wind en zwaardere windstoten opleveren dan verder landinwaarts. Daarom is het voor de bepaling van de sterkte van een storm beter om het stormgetal te koppelen aan de windstotenklimatologie. Hiermee kunnen stormen die alleen landinwaarts optreden, bijvoorbeeld doordat een stormdepressie vanuit het zuidwesten recht over Nederland trekt (Xynthia, februari 2010), ook worden meegenomen in de randschikking.

Het stormgetal moet niet te sterk beïnvloed worden door één of twee extreme waargenomen windstoten, bijvoorbeeld tijdens buien (tenzij de buien gekoppeld zijn aan een stormdepressie). Dit om te voorkomen dat heel lokaal opgetreden zeer zware windstoten te veel meewegen in deze stormranking. Het gaat erom met dit stormgetal een indruk te krijgen van de zwaarte, uitgebreidheid en mogelijke impact van een storm.

Met deze randvoorwaarden is gekozen om de zwaarte van de storm uit te drukken als:

$$S = \frac{\sum_{G > G_{cl}} (G - G_{cl}) * N_{G > G_{cl}} * 10}{N^2} \quad (1)$$

Hierin is S het stormgetal, G de waargenomen maximale windstoot op een station, G_{cl} de klimatologische windstoot (eens per twee jaar), N het totaal aantal stations waarover gesommeerd wordt en $N_{(G > G_{cl})}$ het aantal stations waarop de windstoot de eens per twee jaar windstoot heeft overschreden. De sommatie over de stations met een windstoot groter dan eens per twee jaar gedeeld door het aantal meetstations geeft de gemiddelde overschrijding van de eens per twee jaar windstoot, terwijl de factor $N_{(G > G_{cl})}$ gedeeld door N de fractie van het aantal stations waarop de eens per twee jaar windstoot wordt overschreden aangeeft. Tezamen zorgen ze ervoor dat een geval met een extreme windstoot op één station (bijvoor-



Figuur 1. De windstoot (m/s) met een herhalingsjijd van 2 jaar afgeleid voor de periode van 1961-2007 (Wever, 2009).

NR	Datum	Gem	Fractie	Stormgetal
1	25-01-90	7.72	1.00	77.24
2	03-01-76	5.82	1.00	58.19
3	26-02-90	4.90	1.00	49.01
4	13-11-72	4.70	0.93	43.84
5	18-01-07	4.09	0.94	38.58
6	27-10-02	3.83	0.94	36.08
7	02-04-73	3.95	0.79	31.07
8	18-01-18	3.49	0.72	25.09
9	13-01-93	3.05	0.81	24.58
10	28-10-13	2.81	0.66	18.48

Tabel 1. Top 10 stormgetallen sinds 1 januari 1971. Kolom 1 geeft de ranking, kolom 2 de datum, kolom 3 de gemiddelde overschrijding van de eens per 2 jaar windstoot, kolom 4 de fractie van het aantal meetstations met een overschrijding van de eens per 2 jaar windstoot en kolom 5 het stormgetal.

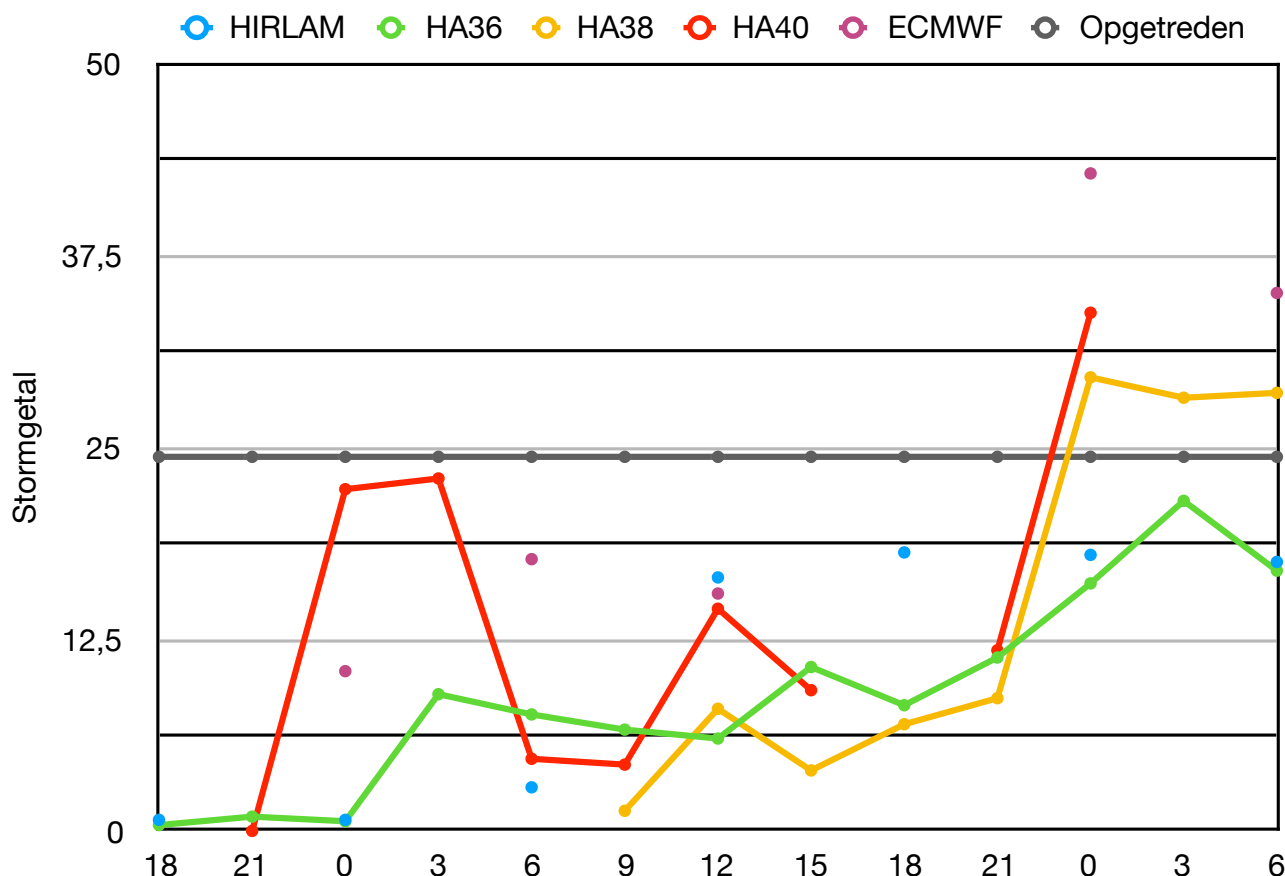
beeld 50 m/s, met een G_{cl} van 30 m/s en 40 stations totaal) een stormgetal oplevert van ongeveer 0.12 (rond plek 100). Door het aantal stations mee te nemen in het stormgetal maakt het in principe niet uit of er data mist op een of meerdere stations. Zolang er geen grote gaten in de dekking over heel Nederland vallen zal het stormgetal zelfs met een aantal missende stations vrijwel hetzelfde blijven. Het maakt dan dus niet uit dat er in de loop van de tijd steeds meer waarneemlocaties zijn bijgekomen.

Deze definitie van het stormgetal is – op dagbasis – bere-

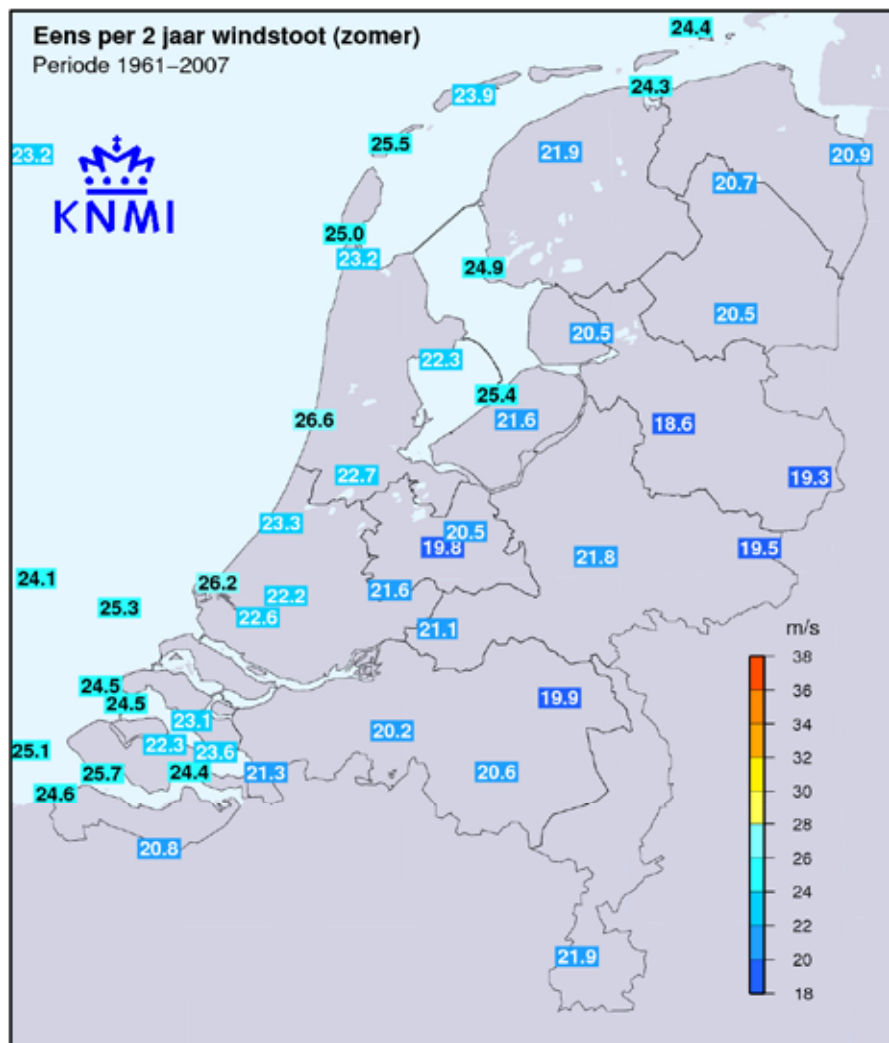
kend met gegevens van alle operationele KNMI stations (projects.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/selectie.cgi) vanaf 1 januari 1971. Er is rekening gehouden met het gegeven dat een storm rond middernacht kan passeren waardoor het maximale stormgetal niet op één dag valt. Door 6 uur van de vorige dag mee te nemen en deze dagen met de hand te checken wordt voorkomen dat twee opeenvolgende dagen hoog in de ranking terechtkomen. De startdatum van 1 januari 1971 is gekozen omdat voor die tijd minder dan 10 stations beschikbaar zijn.

Tabel 1 toont de stormgetallen zoals ze met vergelijking (1) zijn bepaald. Alle bekende “grote” stormen komen in de lijst voor. Notoir zware stormen zijn die van 25 januari 1990 (veruit de sterkste in deze ranking), 3 januari 1976, en die van 13 november 1972 en 2 april 1973. Ook de twee zware stormen uit het eerste decennium van de 21ste eeuw staan in de top 10 (18 januari 2007 en 27 oktober 2002). De storm van 18 januari 2018 staat op plek 8 en die van 28 oktober 2013 completeert de top 10.

Het hierboven beschreven stormgetal kan voor meerdere doeleinden worden gebruikt. Het kan niet alleen gebruikt worden voor de plaatsing van een storm in historisch perspectief, maar ook in de verwachtingen kan het een rol gaan spelen. Van de verschillende modellen die op het KNMI gebruikt worden (HIRLAM, HARMONIE, ECMWF) worden tijdreeksen gemaakt op stationslocaties om een onderlinge modelvergelijking en een vergelijking met de waarnemingen te kunnen maken. Deze tijdreeksen kunnen als basis dienen voor een verwachting van het stormgetal. Met dit verwachte stormgetal kan dan weer gekeken worden waar de storm terecht zou komen in de lijst van de historische stormen. Dit kan helpen



Figuur 2. Verwachte stormgetallen voor de storm van 18 januari 2018 van de modelruns van 16 januari 18 UTC t/m 18 januari 6 UTC voor de verschillende modelruns beschikbaar op het KNMI. HA staat voor HARMONIE-AROME met het versienummer erachter. HA36 is de operationele HARMONIE-AROME versie; HA38 en HA40 zijn testversies.



Figuur 3. De eens per 2 jaar windstoot (m/s) voor het zomerseizoen afgeleid voor de periode van 1961-2007 (Wever, 2009)

bij het inschatten van de impact van de storm. Impactverwachtingen blijken tot nu toe heel lastig voor de partners waarmee het KNMI overlegt over een mogelijke uitgifte van een code rood. Zo werd er voor de storm van 5 december 2013 een code rood uitgegeven, omdat men bang was dat die storm een even grote impact zou hebben als die van 28 oktober van dat jaar. Met de (achteraf) bepaalde stormgetallen was meteen duidelijk dat dit zeer waarschijnlijk niet het geval zou zijn en dat de storm ergens tussen plek 20 en 40 terecht zou gaan komen in de stormen top 100. De impact zou daarmee een stuk kleiner zijn dan dat werd verwacht en wellicht zou met deze kennis niet gekozen zijn voor code rood maar zou code oranje beter zijn geweest. Het stormgetal zoals hier beschreven is overigens mede naar aanleiding van de discussies rond deze storm ontwikkeld.

18 januari 2018

Voor de storm van 18 januari 2018 is het stormgetal gebruikt om een inschatting van de zwaarte te maken. Figuur 2 toont de door de weermodellen berekende stormgetallen samen met het uiteindelijk vastgestelde stormgetal, startend vanaf de modelruns van 18 UTC op 16 januari, dus ongeveer anderhalve dag voor de storm, tot vlak voordat de storm Nederland bereikte.

Figuur 2 laat zien dat de opeenvolgende verwachtingen van de verschillende modellen behoorlijk verschillende en in de tijd variërende signalen lieten zien. De belangrijkste conclusie die uit de verwachte stormgetallen naar voren komt is

dat het pas laat duidelijk werd hoe zwaar deze storm zou kunnen worden. Natuurlijk waren er ook al vroeg signalen dat de storm zwaar zou kunnen worden: het EPS van het ECMWF gaf dat al bijna een week aan. Pas in de run van 18 UTC op 17 januari van het ECMWF en van 00 UTC op 18 januari van de andere modellen waren alle modellen het met elkaar eens dat het een top-10 storm zou kunnen gaan worden. Uiteindelijk is de storm op plaats 8 terechtgekomen, waarmee volgens dit stormgetal de storm zwaarder was dan die van 28 oktober 2013.

Een fenomeen dat bijna altijd zichtbaar is in de stormgetallen, is dat het ECMWF model gemiddeld gezien de zwaarste windstoten berekent en over het algemeen een overschatting geeft van de zwaarte van de windstoten. Dit komt waarschijnlijk door het meenemen van een convectieve component in de windstoten wanneer het diepe convectieschema actief is in het model. Dit veroorzaakt onder grootschalige stormcondities gemiddeld genomen een overschatting van de windstoten. Ook is het interessant om te zien dat de HARMONIE versies die direct genest zijn in ECMWF (HA38 en HA40) ECMWF met een vertraging van 6 uur lijken te volgen. Dit wordt veroorzaakt doordat de HARMONIE run van bijvoorbeeld 00 UTC voor het eerst gebruik maakt van de ECMWF randen van 18 UTC en de verwachting in dit geval sterk door de randen van het model wordt bepaald.

Zomerstormgetal

Het stormgetal dat op basis van de windstoot met een herhalingstijd van twee jaar berekend wordt is niet goed bruikbaar voor de zomer. Een goed voorbeeld is de storm van 25 juli 2015. De impact gedurende deze dag was met afgesloten snelwegen en ernstig verstoord openbaar vervoer vrij groot te noemen. Toch is deze storm niet terug te vinden in de top 100 van stormen sinds 1971. De waargenomen windstoten overschreden de eens per twee jaar windstoot maar op twee stations, en dan nog met slechts een kleine marge. Het stormgetal kwam daardoor uit op 0.01, ruim onder de 0.1 die nodig is om in de top 100 terecht te komen.

De algemene klimatologie die voor het stormgetal gebruikt wordt is niet zo geschikt voor zomerstormen. Als we in de lijst naar de zomerse gevallen kijken dan is de hoogst genoteerde 14 juli 2010 (plek 41) en de tweede 14 augustus 1985 (plek 53). Dit zijn gevallen waarbij buien in relatief kleine gebieden voor zware windstoten zorgden. De eerste echte zomerstorm is die van 13 mei 1983 (Hemelvaartstorm) op plek 58. De tweede echte storm is die van 28 mei 2000 op plek 79. Het is duidelijk dat de gebruikte windstotenklimatologie voor zomerstormen te extreem is waardoor een storm met een grote impact een nauwelijks bruikbare uitslag oplevert in het stormgetal. Voor de zomer moet daarom een apart stormgetal ontwikkeld worden waarbij de zomerklimatologie wordt gebruikt zoals bijvoorbeeld te zien is in Figuur 3 (Wever 2009). Als je de windstoten uit deze klimatologie vergelijkt met die van het hele jaar (Figuur 1), dan zijn de zomerse windstoten gemiddeld 6-7 m/s lager.

NR	Datum	Gem	Fractie	Stormgetal
1	28-05-00	3.84	0.97	37.14
2	12-05-83	3.08	0.88	27.17
3	13-09-17	2.83	0.92	26.12
4	28-09-75	2.83	0.92	26.00
5	25-07-15	2.15	0.70	15.11
6	14-08-85	2.35	0.60	14.10
7	23-09-88	1.39	0.72	10.05
8	21-09-90	1.38	0.67	9.18
9	24-09-12	1.30	0.66	8.53
10	23-06-04	1.24	0.62	7.68

Tabel 2. Top 10 stormgetallen voor het zomerseizoen sinds 1 januari 1971. Kolom 1 geeft de ranking, kolom 2 de datum, kolom 3 de gemiddelde overschrijding van de eens per 2 jaar windstoot, kolom 4 de fractie van het aantal meetstations met een overschrijding van de eens per 2 jaar windstoot, en kolom 5 het stormgetal.

Omdat de gegevens voor de eens per twee jaar windstoot voor de zomer niet beschikbaar waren bij het schrijven van dit artikel heb ik, om toch iets over een zomerstormgetal te kunnen zeggen, de windstotenklimatologie voor het hele jaar met 6 m/s verminderd en daarna voor de maanden mei tot en met september nog een keer het stormgetal uitgerekend. Tabel 2 toont de resultaten van deze berekeningen.

In de zomerstormranking staat de storm van 28 mei 2000 op nummer 1. Deze storm gaf niet de zwaarste windstoten die tijdens de zomer zijn gemeten, maar gemiddeld gezien was de overschrijding van de eens per twee jaar windstoten wel de grootste. Ook is voor deze storm de windstoot met een herhalingstijd van twee jaar op bijna alle stations overschreden. Op de tweede plek staat de Hemelvaartstorm van 1983 en op de vierde plek een grootschalige storm van september 1975. De twee recente stormen van 13 september 2017 en 25 juli 2015 (de enige grootschalige storm in juli in deze top 10) staan respectievelijk op plek 3 en 5. Op plek 6 staat de eerste convectieve situatie met heel zware windstoten in een groot deel van Nederland.

9 augustus 2018

Op 9 augustus 2018 werd code oranje uitgegeven voor zware windstoten. In eerste instantie was het vooral het ECMWF model dat voor deze dag een zeer zware storm verwachtte die al uitdiepend van zuid naar noord over Nederland zou trekken. De windstoten die door het ECMWF verwacht werden lagen op 8 augustus (42 tot 24 uur vooruit) in de orde van 110-150 km/uur! Dit was zelfs terug te zien in het (winter) stormgetal dat uitsloeg tot een waarde vergelijkbaar met de storm van 18 januari van 2018 (plek 8 in de stormenlijst). Het zomerstormgetal kwam uit tussen de 80 en 90, meer dan twee keer zo hoog als de nummer 1 uit de lijst. Andere modellen waren minder extreem.

Op 9 augustus waren de ECMWF verwachtingen een stuk minder extreem, maar de ECMWF verwachting werd nu wel ondersteund door de andere modellen (HARMONIE 36 en 40) en nog steeds werd er een top-5 storm verwacht. Daarmee zou zelfs een code rood gerechtvaardigd zijn. Uiteindelijk is er nauwelijks iets gebeurd, is de storm later ontstaan en minder extreem geworden dan berekend. Het waargenomen zomerstormgetal kwam maar tot 0.01 en kwam daarmee niet eens in de zomer top 100.

Als de ECMWF verwachtingen van 8 augustus uitgekomen waren dan was er een enorme schade geweest. Waarschijnlijk waren er ook veel gewonden en mogelijk dodelijke slachtoffers geweest omdat het midden in de vakantie viel en alle campings vol stonden. Gelukkig is het allemaal meegevalen.

Verdere ontwikkeling van het stormgetal

Het stormgetal begint langzaam maar zeker ingeburgerd te raken in de weerkamer van het KNMI. Om de meteoroloog nog wat meer houvast te geven wordt er op dit moment gewerkt aan een overzicht van de impact van de stormen in de stormenlijst. Hiermee kan er in de bespreking met de impactpartners een vergelijking worden gemaakt met stormen uit het (recente) verleden zodat die een beter idee van de mogelijke impact kunnen krijgen.

Een van de belangrijke doelen van het stormgetal is om snel een inschatting te kunnen maken van de zwaarte van een storm en ook van de impact. Dit zou geverifieerd kunnen worden door het stormgetal te relateren aan schadecijfers van verzekeraars. Het zou kunnen dat blijkt dat er verband bestaat tussen de windstoten en de schade of de impact. Uit eerder onderzoek (Prahl et al., 2015) blijkt namelijk dat boven een bepaalde drempelwaarde een relatie bestaat tussen de windstoten en de schade.

Het kan ook nog interessant zijn om tijdens een storm te kijken naar de toename in de loop van de tijd van het stormgetal en dat te vergelijken met de verwachte toename, zodat ook tijdens een storm gevolgd kan worden of de modellen op het goede spoor zitten of niet.

Ophelia

In de Meteorologica van september 2018 is een artikel gepubliceerd over wat er zou kunnen gebeuren als de ex-tropische orkaan Ophelia Nederland had bereikt in plaats van Ierland (De Vries et al., 2018). Ik heb op basis van de zwaarste windstoten van de meest extreme run het stormgetal bepaald. Dit komt uit op 106, 37% hoger dan de zwaarste storm sinds 1971 (Tabel 1). Het artikel van De Vries et al. richt zich vooral op de gevolgen voor de waterstand en de golven op het IJsselmeer. De hoge waarde van het stormgetal toont aan dat de impact op de rest van de samenleving ook enorm groot zou zijn, met een schade hoogstwaarschijnlijk groter dan die van de storm in januari 1990, ook omdat Ophelia in oktober overtrok, de periode dat veel bomen nog behoorlijk in blad staan. Het plaatst deze storm in historisch perspectief en geeft niet alleen te denken over de waterstanden en golven op het IJsselmeer.

Referenties

- Prahl B.F., D. Rybski, O. Burghoff, en J. P. Kropp, 2015: Comparison of storm damage functions and their performance. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 769–788: (<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/15/769/2015/nhess-15-769-2015.pdf>)
- De Vries, H., E. van Meijgaard, B. van Ulfst, J. Groeneweg, D. Slagter en M. Bottema, 2018: Als Orkaan Ophelia Nederland had bereikt. Meteorologica 3, p 4-8.
- Wever, N., 2009: Windstotenklimatologie Nederland. TR 306, KNMI.

Dan maar Ukkel

HUUG VAN DEN DOOL

Ondanks alle vooruitgang gaan weersverwachtingen nog wel eens fout, voornamelijk in de rubriek neerslag en bewolking, zelfs op dag één. Bij zo'n 'foute' verwachting kan de (soms achteloze) gebruiker denken aan slechte methoden, verwachters die er met de pet naar gooien, apparatuur die uitvalt, noem maar op. Allemaal dingen die te verbeteren zijn. Het idee van beperkte voorspelbaarheid en een subtiel onderscheid tussen wat wel en niet mogelijk is komt niet helemaal uit de verf, is onszelf (vaklui) ook niet 100 procent duidelijk, en wordt samen met waarschijnlijkheidsverwachtingen als een lam excuus ervaren. Ik reis vandaag met 70 procent van m'n paraplu!

Mijn eerste leven lang, in Nederland, heb ik van burens en kennissen gehoord dat het KNMI (pre-commerciële tijdperk) er weer niets van bakte – een vrolijk tijdverdrijf. Met overdrijving werd er zelfs gezegd: het KNMI zit er altijd naast. Ik legde dan aan mijn burens geduldig het 'perverse' verificatiesysteem van Allan Murphy uit, dat wil zeggen, keer elke verwachting om in het tegendeel en ga na of dat beter uitkomt in de verificatie over vele gevallen. (Zo ja dan is het KNMI erg knap want er altijd naast zitten vereist ook een groot inzicht). In het grensgebied van Nederland en België had men zulke gevoelens natuurlijk ook, maar daar bezigde men verrassend genoeg weer een andere verklaring, namelijk dat het KNMI (in 1970) te veel gericht was op het midden des lands en dat de regio's er bekaaid afkwamen. En er was nog een oplossing ook, namelijk naar het weerbericht van Ukkel luisteren. Sommige Zeeuwen, Brabanders en Limburger zwoeren bij Ukkel, want daar hadden ze meer baat bij dan bij De Bilt, aldus met grote stelligheid geschreven ingezonden stukken. Het leek mij meer een vorm van protest dan rationeel gedrag. Op z'n hoogst zou men kunnen zeggen dat dit een vroege versie is van een ensemble systeem. Twee ongecoördineerde verwachtingen voor vrijwel hetzelfde gebied geven informatie over onzekerheid. De populariteit van Ukkel nam in Nederland verder toe omdat België populaire TV weermannen (met name Armand Pien) had terwijl Nederland in een langdurig weermanloos tijdperk was beland. Terwijl ik deze regels opschrijf valt er buiten een onverwachte bui. Hoezo onverwacht? Nou, het stond vanochtend niet in de tekstverwachting. Zal ik voortaan dan maar naar Canada luisteren? Het is 2018, we hebben honderden ensembles. Zal ik voortaan dan maar op lid 17 van het ensemble vertrouwen, de enige met die bui vandaag? Ik doop lid 17 "Ukkel".

Men moet z'n neus over de grens steken om dit probleem, deels menselijk ongedrag, beter te doorzien. Toen ik enige tijd (1981/82) college gaf in België, in Leuven, hoorde ik tot m'n verbazing van m'n goede kennis Hugo Poppe, dat men aldaar, diep in België, zwoor bij het weerbericht uit Nederland, want Ukkel zat er vaak naast. Samen met die andere Hugo heb ik geweldig gelachen. Iedereen in België en Nederland heeft blijkbaar hetzelfde gevoel en protesteert ludiek tegen de eigen falende weerdienst door naar een schrijnend alternatief te gaan luisteren. De tandeloze actie is meer komisch dan beledigend.

En er zijn meer grenzen dan de Belgische. Ik heb in mijn Nederlandse jaren nooit gehoord dat een Duits weerbericht uitkomst kon bieden daar waar De Bilt faalt. Misschien is de taal een belemmering om over te stappen naar de Duitse concurrent. Maar onlangs kwam mij toch een dergelijk verhaal ter ore. Dat ging verder dan ludiek protest; het was ook 'verzet' tegen de dominantie van het bureaucratische hoofdkantoor in De Bilt

ten opzichte van de filialen, bijvoorbeeld Eelde. Ik spreek over 1980 of daarvoor. Ver weg van het centrum van het land kon Eelde met enig recht menen het slachtoffer te zijn van een gebrek aan regionalisering in het weerbericht. Het lag daarom voor de hand dat het gepokte en gemazelde personeel van Eelde zelf enige regionale amenderingen in het Biltse weerbericht aanbracht als iemand erom vroeg, en een enkele keer ook als niemand erom vroeg. (Beroemd is het geval van de KNMI-waarnemer Jan Pelleboer die in juni 1951 zelf de politie in Groningen belde om te zeggen dat de koninklijke rondrit in open rijtuig moest worden bekort omdat er een zware bui ging vallen, iets wat nog gebeurde ook. Hij kreeg uitgebreide complimenten van de Groningse autoriteiten, en op z'n lazer van het KNMI te De Bilt.) In vergaderingen tussen de Bilt en Eelde moest het obstinate filiaal regelmatig tot de orde worden geroepen, en er aan worden herinnerd wie verantwoordelijk is voor het weerbericht. Waarop de Eeldenaren zich soms niet konden beheersen en schertsend terugriepen dat men voor Noordoost-Nederland beter naar Radio Bremen kon luisteren. Dat kon De Bilt in z'n zak steken. Plus de wonderlijke mededeling dat men in Bremen beter Gronings sprak dan in De Bilt.

In mijn korte jaren (1975-1982) op het KNMI stond regionalisering van het weerbericht als nieuw item steeds op het programma. Dat ging voornamelijk via objectieve Model Output Statistics die natuurlijk anders kunnen uitpakken voor Hoek van Holland en Twente, al was de roosterpuntsafstand van het model toen nog wel erg groot. Maar wetenschappelijk vermogen is één ding, rekening houden met loodrechte opinies een ander. In diezelfde tijd lobbyde de Kamer van Koophandel om een einde te maken aan regionalisering van het type 'op de Wadden enkele graden lager', want dat is schadelijk voor het toerisme. In mijn tweede lange leven, in de Verenigde Staten, toen orkaanverwachtingen nog nergens op leken ben ik in de jaren 1990 naar de Bahama's gesommeerd om onder het genot van een onbeperkt oorlam rum een preek aan te horen over het feit dat vakantiereizen naar de Bahama's stevast worden geannuleerd als de naam van dit uitgestrekte eilandrijk wordt genoemd in verband met een orkaan die ergens in de Caraïben huishoudt. Op een spaghettikaart werd getoond dat er in de afgelopen 150 jaar maar weinig orkanen dicht in de buurt van hoofdstad Nassau zijn geweest. De verwoesting door orkanen was dus te verwaarlozen vergeleken met de jaarlijkse verwoesting van de toeristenindustrie (de enige bron van inkomsten aldaar) door een te vage orkaanverwachting. Dit werd getoond. Duidelijker feedback kon haast niet, zo leek het eerst. Hier zocht men geen Ukkel, men wilde simpelweg dat de Bahama's niet nodeloos genoemd werden. Bij nader onderzoek bleek dat het toerisme in de Bahama's ook grote schade opliep als ver weg gelegen eilanden als Barbados, Barbuda of Bermuda worden genoemd. Voor wie te veel rum drinkt is de letter B het sein om het op een lopen te zetten. Wil de gebruiker ook eens wat opletten en verantwoordelijkheid nemen? Of doen ze dat alleen voor betaalde weerberichten?

Ik begrijp dat het KNMI nog altijd de schuld krijgt van een mislukt weerbericht ook al worden die nu door commerciële bedrijven gemaakt. In de VS wordt er niet gescholden op de NWS. Is dat goed? Slechts ten dele want de gewone man heeft nog nooit van de NWS gehoord...

Recensie “Gevoelstemperatuur” van Heleen Ekker

FIONA VAN DER BURGT (WEATHER IMPACT)

Sinds 2018 lijkt er enig schot te komen in het klimaatbeleid van Nederland. Het is niet ondenkbaar dat de gevolgen van CO₂ uitstoot desastreus uitpakken voor ons lage landje: één, twee of meer meter zeespiegelstijging in het jaar 2100, en nog veel meer daarna, betekent simpelweg game over voor ons. De timing van hoogstnoodzakelijke maatregelen is cruciaal: hoe eerder we in actie komen, hoe beter (lees: minder duur, kansrijker). Slechts weinigen lijken te beseffen dat het lange-termijn voortbestaan van Nederland (en andere laaggelegen kustgebieden/steden) goeddeels afhangt van beslissingen in de komende 10 à 20 jaar.

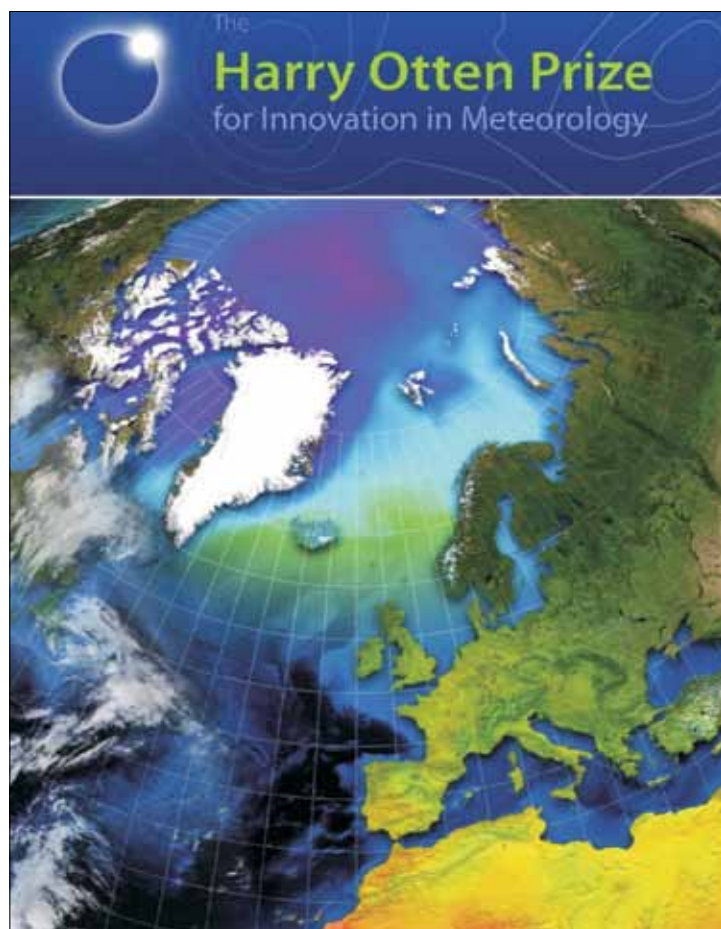
Dit klimaatdilemma vormt het centrale thema van Heleen Ekkers boek “Gevoelstemperatuur”, waarin zij vier prominente TV-weerpresentatoren (Gerrit Hiemstra, Marco Verhoef, Willemijn Hoebert en Peter Kuipers Munneke) hun visie op de diversiteit van klimaatproblemen laat geven, ingebed in ieders persoonlijke verhaal en de individuele keuzes die zij maken. Haar keuze voor weer-BN’ers is handig: vrijwel iedereen kent hen, zij weten als weerkundigen van de materie en kunnen dit thema als geen ander uitleggen aan een groot publiek.

Ekker tekent van elk van de vier een persoonlijk profiel op; hoe zij worstelen met de vraag hoe met het veranderende klimaat en de eigen verantwoordelijkheid daarin om te gaan: wel of geen zonnepanelen, zonneboiler, elektrische auto, verre vlieguren, etc. Van abstracte materie wordt zo een herkenbaar en persoonlijk verhaal gemaakt waarmee de lezer zich kan identificeren.

De interviews met de weerkundigen zijn bij hen thuis afge-

nomen en worden in het boek afgewisseld met een aantal intermezzo’s waarin relevante klimaatbegrippen in begrijpelijke bewoordingen worden uitgelegd. De weerpresentatoren spreken zich unaniem uit over de noodzaak om “iets” te doen om te voorkomen dat Nederland op termijn onder water komt te staan en laten zien hoe ze hier in hun eigen leven al vorm aan geven. We lezen bijvoorbeeld over het energieproducerende huis van Willemijn Hoebert, minder vlees eten en het contrast tussen de groeiplannen van Schiphol en de klimaatdoelstellingen. Alle vier presentatoren willen in een elektrische (of waterstof) auto rijden, of bezitten die al. Ze laten zien dat keuzes voor een duurzamer alternatief vaak ook om de ‘banale’ vraag gaan hoe dit allemaal betaald moet worden.

Heleen Ekker is het gelukt om met “Gevoelstemperatuur” een licht stemmend boek van een somber thema te maken. Het werk is een aanrader voor iedereen die in begrijpelijke taal wil lezen wat er met het klimaat aan de hand is, wat ons te wachten kan staan, en is een inspiratie voor wat er (op persoonlijk vlak) gedaan kan worden.



25000 Euro for the best innovative idea in meteorology

The Harry Otten Prize is a prize of **25000 Euro** that will be awarded every two years for the best innovative idea in Meteorology.

The prize encourages individuals and small groups (maximum of 3 individuals) to propose new ideas of how meteorology in a practical way can further move society forward.

The prize will be awarded during the meeting of the European Meteorological Society (EMS) in Copenhagen **10 September 2019**.

Ideas for the prize may be submitted from **15 September 2018** until the closing date of **10 March 2019**.

The endowment created by Harry Otten, which allows awarding the prize, is governed by an independent board. The members of the board also form the prize jury.

For additional information please see www.harry-otten-prize.org

Congresverslag ERAD2018 – 10th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology

REMKO UIJLENHOET (WUR), HIDDE LEIJNSE (KNMI), LOTTE DE VOS (WUR, KNMI)

Van maandag 2 tot en met vrijdag 6 juli 2018 vond in congrescentrum De Reehorst in Ede de 10e Europese Conferentie over Radar in de Meteorologie en Hydrologie (ERAD2018; <http://www.erad2018.nl>) plaats. De conferentie werd georganiseerd door het KNMI in samenwerking met Wageningen University & Research. De ERAD-gemeenschap is een informeel netwerk van medewerkers van nationale meteorologische en hydrologische diensten, universiteiten en het bedrijfsleven en organiseert om de twee jaar het ERAD-congres.

Het doel van dit congres is om de uitwisseling van kennis tussen studenten, onderzoekers, technici, beheerders, en gebruikers van weerradar in de meteorologie en hydrologie te bevorderen. Sinds de oprichting van het ERAD-netwerk in Locarno, in 1998, en de eerste échte ERAD-conferentie in Bologna in 2000, is de conferentiereeks uitgegroeid tot een belangrijk forum waar meteorologen, hydrologen, technici en eindgebruikers van over de gehele wereld, die in hun onderzoek en dagelijks werk met weerradar te maken hebben, samenkomen.

De resultaten die gepresenteerd en bediscussieerd zijn gedurende de 10 voorgaande ERAD-conferenties hebben hun weg gevonden naar vele, vaak goed geciteerde, artikelen in wetenschappelijke tijdschriften. Tegelijkertijd heeft de ERAD-conferentiereeks een belangrijke rol gespeeld bij het bevorderen van het gebruik en de toepassing van weerradar in de meteorologie, hydrologie, het waterbeheer en vele andere terreinen, in Europa en daarbuiten. Gedurende de afgelopen twee decennia heeft de aandacht van de ERAD-gemeenschap zich ook verbreed richting gerelateerde onderwerpen in aanpalende vakgebieden, zoals neerslagobservatie met behulp van radarsatellieten en andere recente technologische ontwikkelingen.

Deze verjaardagseditie van ERAD trok bijna 400 deelnemers van over de gehele wereld naar Nederland (Figuur 1). De conferentie werd voorafgegaan door een volle (zon) dag met vijf korte cursussen, waar meer dan 100 deelnemers op afkwamen. Onderwerpen die bij de cursussen aan bod kwamen waren: Community Radar Software, Quantitative Precipitation Estimation, Radar-based Ensemble Precipitation Nowcasting, Radar Calibration en Micro Rain Radar. De conferentie bestond uit 15 keynote lezingen, 120 andere mondelinge presentaties en een postersessie met 218 posterpresentaties. De conferentie werd geopend door Gerard van der Steenhoven (hoofddirecteur KNMI) en Bram de Vos (algemeen directeur van de Environmental Sciences Group van WUR). Er waren sessies op het gebied van New and Emerging Radar Technologies, Advances in Signal Processing, Radar Networking, Quantitative Precipitation Estimation, Hydrological Studies Using Weather Radar, Nowcasting and Blending Techniques, Synergetic Use of Weather Radars and Other Sensors, Microphysical Studies, Mesoscale and Severe Weather, Use of Weather Radar Data in Numerical Weather Prediction Models, Airborne and Spaceborne Radars, Millimeter Wavelength Radars, Radar Calibration and Monitoring, en Non-meteorological Use of Weather Radar.

Op woensdagmiddag 4 juli was er een speciale sessie ter ere van de loopbaan van de 80-jarige Prof. Isztar Zawadzki van McGill University in Montreal, één van de grondleggers van het vakgebied van de radarmeteorologie. De dag werd



Figuur 1. Conferentiedeelnemers in Ouwehands Dierenpark (foto: Mirian Hendriks).

feestelijk afgesloten met een excursie naar Ouwehands Dierenpark in Rhenen, waar ook het conferentiediner plaatsvond.

Als organisatiecomité kunnen we, mede dankzij het werk van het lokale organisatiecomité, de internationale programmacommissie en onze sponsors, terugkijken op een succesvolle conferentie waar de laatste stand van zaken op het vakgebied van de radar-hydrometeorologie in een uitermate ontspannen sfeer (en onder zeer zomerse omstandigheden) de revue is gepasseerd. Hoogtepunten waren, wat ons betreft, naast de sessie ter ere van Isztar Zawadzki, de zeer succesvolle korte cursussen, de speciale keynote lezing over open source radar software en de sessies over radar nowcasting (kortetermijn neerslagverwachtingen met behulp van weerradar) en het synergetische gebruik van weerradar en andere sensoren (zoals persoonlijke weerstations en radiostraalverbindingen). Geïnteresseerde lezers kunnen meer informatie vinden in het uitgebreide Book of Abstracts (De Vos et al., 2018). We zien uit naar de volgende aflevering van het ERAD-congres, dat in de zomer van 2020 door de Zwitserse meteorologische dienst (MeteoSwiss) in samenwerking met de federale technische universiteit van Lausanne (EPFL) georganiseerd zal gaan worden.

Nawoord

Dit congresverslag is ook verschenen in: *Stromingen* 32 (2018), 2, 49–51.

Literatuur

De Vos, L.W., H. Leijne, R. Uijlenhoet (editors) (2018), *Book of Abstracts of the 10th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2018)*. Published by Wageningen University & Research and KNMI, 983 pp. DOI:10.18174/454537 (te downloaden van <https://doi.org/10.18174/454537>).



Tekst en tekeningen: Avram Hulscher (12 jaar).

De winter

HARRY GEURTS (KNMI, VOORMALIG PERSVOORLICHTER)

Met Mozart glijden we de winter in. Niet met de beroemde Wolfgang maar met zijn vader Leopold (1719-1787) die een tocht met de slee op muziek zette. De vrolijke “Schlittenfahrt” met trompetten, pauken en hoorns beleefde twee weken voor de geboorte van zijn zoon de première. Het werk zit vol met muzikale grapjes, die de kleine Wolfgang ongetwijfeld waardeerde. In de uitvoering door Eduard Melkus met hinkelende paarden, zweepslagen en belletjes waan je je echt in de winter. Reizen met de postkoets was in koude sneeuwrijke winters makkelijker dan in andere seizoenen wanneer de wegen modderig waren. Wel was het onderweg berekend (het was namelijk de Kleine IJstijd).

Code oranje avant la lettre

Als vader Mozart in de winter van 1775 met zijn zoon in München aan een opera werkt wil ook zijn dochter Nannerl uit Salzburg graag langskomen. Hij waarschuwt Nannerl dat ze zich vanwege het barre winterweer extra moet aankleden met een “herenwinterjas van pels”: code oranje avant la lettre. “Anders is het in de halfopen koets niet te harden”. Dit zoeken we natuurlijk op in het boek van Jan Buisman: en ja hoor, de winter van 1775 was inderdaad bitter koud met bevroren rivieren. Het barre winterweer was ook voor andere componisten een bron van inspiratie. Joseph Haydn kondigde in zijn oratorium “Die Jahreszeiten” in de herfst al de naderende winter aan met sombere orkestklanken die de sfeer van dichte mist oproepen. De tenor zingt over het bevroren meer “Gefesselt steht der breite See” en het dikke pak sneeuw “Die Felder deckt, die Täler füllt, ein ungeheure Flockenlast.”

Ook Haydn ging geregeld met de postkoets op stap. Hij maakte lange reizen om zijn muziek onder de aandacht te brengen. Indrukwekkend is zijn bijna drie weken durende reis van Wenen naar Londen in de winter van 1791. Op Nieuwjaarsdag maakt Haydn de oversteek Calais-Dover en schrijft dat er geen beweging kwam in het schip, tot het weer ineens omsloeg: “toen de wind opstak en ik de aanstormende hoge golven zag werd ik een weinig angstig en hiermee enigszins onpasselijk. De meeste passagiers werden ziek en zagen eruit als geesten.” Haydn laat het heftige weer met storm, regen, onweer en sneeuw terugkeren in

zijn monumentale werk “Die Schöpfung” (De Schepping).

Ook Vivaldi’s “Vier Jaargetijden” staan bol van wind en regen. In het eerste deel van de winter ril je van de kou vanwege de trillende violen. In het middendeel klinken tokkelende violen die aanhoudende regen uitbeelden. Het laatste deel gaat over ijspret en de pirouettes van schaatsers. Bij de Vier Jaargetijden horen sonnetten, waarschijnlijk door Vivaldi zelf geschreven.

Sonnet van de winter uit de Vier Jaargetijden van Vivaldi

*Kleumend en bibb'rend in ijzige sneeuw
bij 't huilen van de felle wind
Loopt men stampvoetend,
Klappertandend van de kou*

*Gelukkig en tevreden zit men aan het vuur
Terwijl de regen buiten allen doorweekt.
Men begeeft zich nu op het ijs,
Met kleine pasjes, bang om te vallen.*

*Wie te vlug is, gaat onderuit,
maar steeds probeert men het weer, tot het ijs krakend
breekt.*

*De siroccowind breekt los en voert
Een gevecht tegen de andere winden.
Dat is pas winter! Maar toch is iedereen blij.*

Bron: Componistenreeks, Vivaldi. Jos van Leeuwen, Gottmer, Haarlem 1992.



Figuur 1. Hoes van de grammofoonplaat van Schlittenfahrt, Eduard Melkus.

Dansende Russische beer

De winter in Italië valt natuurlijk in het niet bij de ijzige Russische winters. Peter Tsjaikovski (1840-1893) schreef sfeervolle miniatuurtjes voor piano met de wintermaanden in gedachten. Januari begint bij het haardvuur, dat hij zich herinnerde uit zijn ouderlijk huis. Herinneringen aan de lange koude winters komen tot uiting in zijn eerste symfonie “Winterdromen” met overpeinzingen over de winters in zijn jeugd. In het meest romantische tweede deel laat Tsjaikovski horen wat sneeuw in zijn kinderjaren voor hem betekende. Een half jaar lag er een dik pak rond zijn geboortehuis en keek hij uit over een eindeloos kale sneeuwvlakte. Zijn landgenoot Alexander Glazoenov wijdde later zelfs een ballet aan de jaargetijden. De dansers spelen mystieke boswezens met symbolische voorstellingen van natuurverschijnselen. In



Figuur 2. Haydn in stormweir tijdens de overtocht Calais-Dover (bron:AKG images).

de winter trekken ze er samen in de hagel en sneeuw op uit.

De sneeuw is ook het thema van “Sneeuwmeisje”, een opera van Nicolai Rimsky Korsakov, vooral bekend door zijn Sheherazade, een symfonisch gedicht over de verhalen van duizend-en-één-nacht. Het Sneeuwmeisje is veel minder vaak te horen. Het werk is gebaseerd op een Russisch sprookje over een boerenechtpaar zonder kinderen. Als ze ‘s morgens uit het raam kijken zien ze kinderen een sneeuwpop maken. Het echtpaar wil dat ook. Zodra ze klaar zijn komt hun sneeuwpop tot leven en hebben ze een dochter. De ouders van het sneeuwmeisje zijn dolgelukkig maar lang duurt dat

niet. Zodra de lente begint wordt het sneeuwmeisje ziek, smelt ze, en blijven de ouders weer zonder kind achter.

Een sneeuwstorm komt langs in “Chasse neige” uit de Transcendente etudes van Franz Liszt. De pianist raast in dit virtueuze stuk over de toetsen. De (drift)sneeuw is ook in beweging maar veel rustiger in “The snow is dancing” uit “Children’s Corner”, een dromerige suite voor piano die Claude Debussy schreef voor zijn dochtertje. Het stuk gaat over een jongetje dat speelt met een sneeuwbol, een doorzichtige glazen bol waarin een miniatuurlandschap is aangebracht waarop je het kunt laten sneeuwen, gewoon door de bol te schudden. Nog rustiger gaat het eraan toe in zijn prelude voor piano “Des pas sur la neige”, voetstappen in de sneeuw. Het trage ritme en de herhaling van het openingsmotief roept een gevoel van eenzaamheid op van een wandelaar in de sneeuw.

Winterreise als tophit

Een desolate atmosfeer is ook het thema van de “Winterreise” van Franz Schubert, dit jaar op de eerste plaats van de Hart en Ziellijst van Radio 4. De componist voltooide het populaire werk in de winter van 1827, tegen het einde van zijn korte leven (hij werd slechts 31 jaar oud). Schubert was somber gestemd; in zijn leven was inmiddels de winter aangebroken.

*De weg is gehuld in sneeuw.
De tijd van mijn reis
kan ik niet kiezen.
Moet zelf mijn weg vinden
in deze duisternis.*

(deel van de tekst van Gute Nacht)

De Winterreise is opgebouwd uit 24 liederen op tekst van Wilhelm Müller. Het verhaal gaat over een jongeman die wordt afgewezen en vertrekt. De muziek neemt je mee door het eenzame winterlandschap in de kale natuur, de laatste tocht naar de dood. Aan het

eind ontmoet hij de speelman (Leiermann) met een draailier, de verpersoonlijking van de dood. Maar eerst klinkt onder andere de weerhaan (Wetterfahne), waarin de wind speelt met de windwijzer op het huis van zijn geliefde. In een ander lied wordt de stormachtige ochtend bezongen, “de winter koud en wild”. Meteorologisch interessant is “Die Nebensonnen”, ook wel bekend als schijnzonnen. Aristoteles schreef in zijn Meteorologica al over twee bijzonnen, die “tegelijk met de zon opkwamen.” Wetenschappelijk werd het verschijnsel eind 17e eeuw opgehelderd door Edme Maritte (Essai de Physique). Het gaat natuurlijk om het optische verschijnsel met bijzonnen



Figuur 3. Sneeuwbol (bron: freepik.com).

door weerkaatsing van zonlicht in wolken met ijskristallen. Bij de romantici in de tijd van Schubert maakte dit mysterieuze fenomeen diepe indruk. Dat sluit aan bij de magische kracht van de Winterreise. De drie zonnen van de zwerver

zijn de ogen van het meisje en de zon zelf. Hij is volgens de analyse van Ian Bostridge, bekend Winterreise vertolker, zijn geliefde kwijt en was liever dood.

*Ik zag drie zonnen aan de hemel staan
Ik heb er lang en strak naar gekeken.
En ook zij stonden daar zo star
Alsof ze me niet wilden verlaten.
Ach mijn zonnen zijn jullie niet!
Kijk toch anderen in het gelaat!*

(deel van de tekst van Die Nebensonnen)

Persoonlijke Winterreise met glühwein

Zelf maakte ik afgelopen winter een Winterreise naar Alkmaar waar het Requiem van Fauré werd uitgevoerd. Door de wind en de felle vorst was de tochtige kerk niet warm te stoken. Publiek én musici hielden hun jassen aan. Een vreemde aanblik, een orkest met jas en das op het podium. De koffiepauze werd een glühweinpauze. Kortom, de winter kunnen we niet alleen in de muziek horen, maar kan de uitvoering ervan ook sturen...

Die Wetterfahne
"The Vane"
from "Winterreise"
Op. 89, No. 2

Molto vivace Franz Schubert

Der Wind... spielt mit... der Wet - ter - fah - ne auf mei - nes schö - nen
Now with... the vane... the wind... is toy-ing, That on... my sweet - heart's

Lieb - chens Haus.
house - top veers!

Da dacht' ich schon in mein-er Wah-ne: sie pfiff... den
It seems to me as if't were joy-ing in mock - 'ry

ne - men Flucht - ling aus... Er hat' es e - her be - mer - ken sol - len des
at... my sighs and tears... Had I... but notic'd it ere I en - ter'd.

Figuur 4. Partituur van Die Wetterfahne uit Die Winterreise van Schubert (bron: Sheet Music Now).



Bachelor of Science Soil, Water and Atmosphere



Master of Science in Meteorology and Air Quality

Wageningen University
Meteorology and Air Quality
www.maq.wur.nl

Contact:

Arnold Moene
arnold.moene@wur.nl

Information:

BSc: www.wur.nl/bbw
MSc: www.wur.nl/mee



Derde Metop satelliet gelanceerd

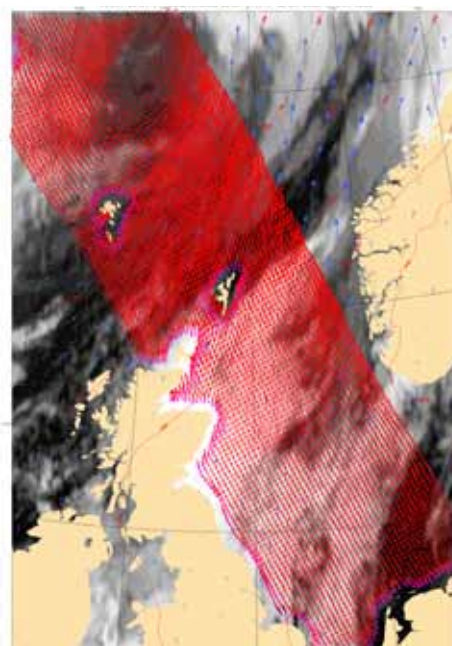
PIET STAMMES, LÉONIE BOSSELAAR (KNMI)

De satelliet Metop-C is succesvol gelanceerd. Metop-C is de derde en laatste satelliet van de Metop-serie. De metingen van deze satellieten maken de weersverwachting voor de korte en middellange termijn nauwkeuriger en leveren gegevens die gebruikt worden voor inzicht in klimaatverandering. De Metop-A, B en C satellieten vormen een serie van drie polaire satellieten die deel uitmaken van het EUMETSAT Polar System (EPS). De Metop satellieten draaien in een baan over de polen op ongeveer 800 kilometer hoogte, en kunnen op die manier elke plek op aarde in één dag zien. De Metop-C satelliet komt in Nederland op een vast tijdstip over, namelijk 's ochtends om 09.30 uur en 's avonds om 21.30 uur.

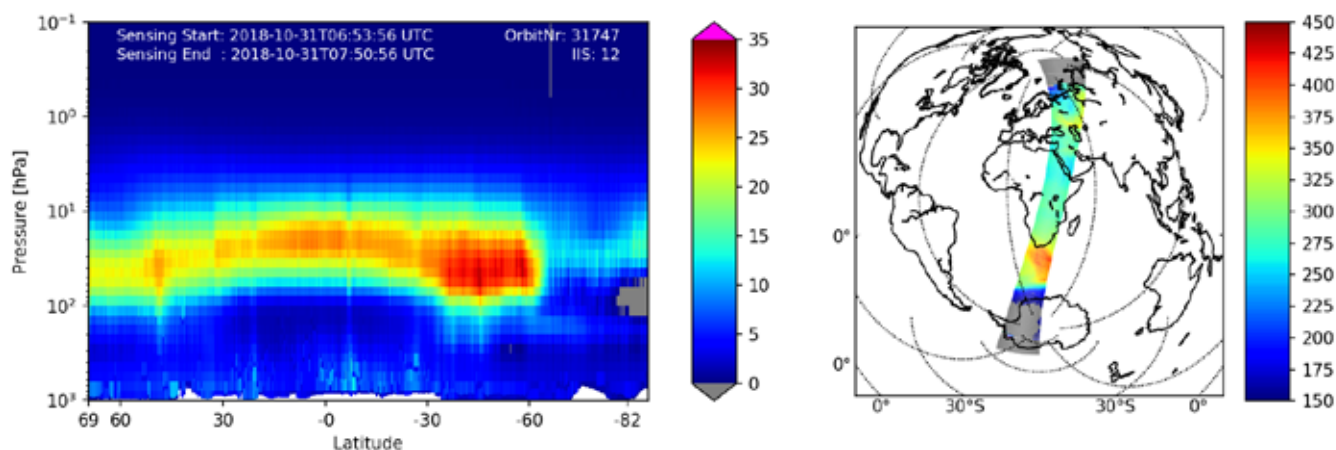
Metop-A werd gelanceerd in 2006, Metop-B in 2012, en nu zes jaar later Metop-C. De satellieten brengen elke dag de gehele atmosfeer in kaart. Aan boord zijn verschillende instrumenten die onder andere informatie geven over temperatuur, luchtvochtigheid, wind, ozon, stofdeeltjes en luchtvervuilingsgassen. De dataverwerking van de instrumenten vindt plaats binnen een Europese samenwerking. Elke partner heeft hierin zijn eigen specialisme. Het KNMI doet de dataverwerking voor de instrumenten ASCAT en GOME-2. De data van het ASCAT instrument geven inzicht in de wind boven zee. De GOME-2 gegevens geven informatie over de hoeveelheid ozon en aerosolen in de atmosfeer en over de luchtkwaliteit.

Alle informatie wordt door de partners onderling gedeeld en gebruikt in weersmodellen. Door die data zijn de weersverwachtingen sterk verbeterd. Om dit aan te tonen worden er geregeld experimenten gedaan waarbij er een vergelijking wordt gemaakt van de weersverwachting met en zonder de data van de satellieten. Dan blijkt dat de weersverwachting met de data zorgt voor een veel nauwkeuriger verwachting. Doordat de Metop satellieten al ruim twaalf jaar werkzaam zijn, zorgt dit ook voor een lange reeks aan metingen. Deze reeksen zijn belangrijk om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van het klimaat.

De volgende generatie Metop satellieten zal naar verwachting vanaf 2022 worden gelanceerd.



Figuur 1. Het windveld op de Noordzee gemeten door de ASCAT op Metop-A op 4 november 2018 rond 20:30 uur. Er is een infrarood-opname van de bewolking te zien. Ten noorden van Schotland is een depressie herkenbaar aan het sterk gebogen windveld. Bron: EUMETSAT/OSI-SAF/KNMI.



Figuur 2. De ozonlaag van noord naar zuid, met het ozongat boven Antarctica, van opzij en van boven gezien, gemeten door Gome-2 op 31-10-2018. Links is te zien dat ten zuiden van 60 graden zuiderbreedte de hoeveelheid ozon drastisch afneemt. Bron: EUMETSAT/AC-SAF/KNMI. Eenheid kleurschalen: Dobson Unit (DU), links per laag, rechts over de hele atmosfeer.

WEERSTATION ONLINE

MetStream™

Gill introduceert de MetStream™. De volgende stap in het zichtbaar maken van meetgegevens. Via een browserinterface kunt u actuele – live – meetgegevens weergeven op uw pc, tablet of smartphone (via internet of draadloos) en opslaan op server of pc. Ontwikkeld voor de meteorologische instrumenten van Gill, maar geschikt voor alle sensoren met digitale en analoge uitgangen.

Vanaf het dashboard kunt u individuele instrumenten configureren en weergeven zoals u wilt. Gill sensoren zijn zelfs via de "pick and click" methode het dashboard te synchroniseren.



ingenieursbureau wittich & visser bv
scientific and meteorological instruments



Handelskade 76
2288 BG Rijswijk

Tel. 070 3070706
Fax 070 3070938

www.wittich.nl
info@wittich.nl

KLIMAATOVERZICHT

Seizoenscyclus van temperatuurextremen

GEERT JAN VAN OLDENBORGH (KNMI)

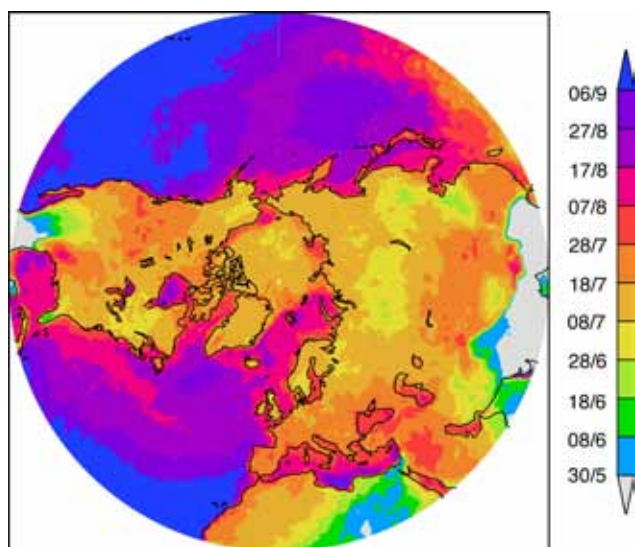
De belangrijkste voorspeller voor het optreden van veel extremen is de seizoenscyclus. Hittegolven vallen bijvoorbeeld in de zomer op het noordelijk halfrond. Die seizoenscyclus is echter niet overal hetzelfde. De warmtecapaciteit van de oceaan zorgt er voor dat de maxima boven zee en aan de kust later vallen dan in het binnenland. In deze bijdrage onderzoeken we aan de hand van de seizoenscyclus in temperatuur ook wanneer de verschillende seizoenen beginnen. Als we bijvoorbeeld de lente definiëren als de eerste week met een gemiddelde maximumtemperatuur boven de 15 °C zien we dat Nederland voor zijn breedtegraad een zeer vroeg voorjaar heeft. Ten westen van ons vertraagt de invloed van de na-ijlende oceaan het voorjaar, verder naar het oosten is dat de smeltende sneeuw.

Gegevens

De analyse is gedaan met de ERA-interim heranalyse met een resolutie van ongeveer 70 km. De enige mondiale analyse van dagelijkse waarnemingen, Berkeley Earth, heeft een veel grotere decorrelatielengte en ruwe stationsdata zijn te ongelijk verdeeld om hier te gebruiken. Bij het schrijven van dit artikel waren er nog niet genoeg ERA5 data beschikbaar.

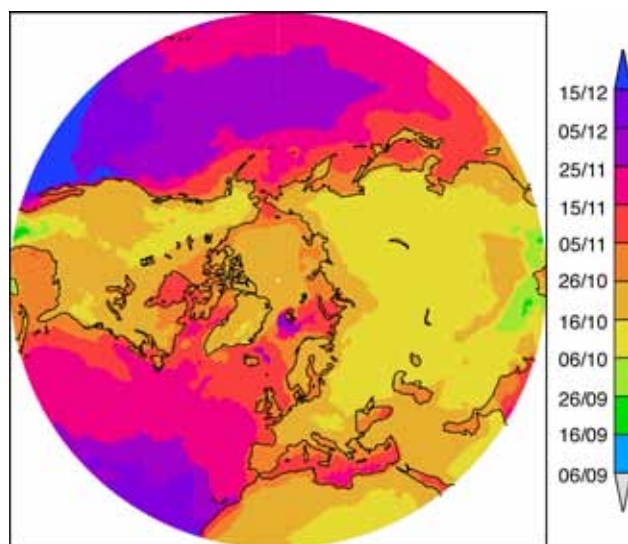
Hoogzomer

We definiëren het hoogtepunt van de zomer als de datum waarop gemiddeld de hoogste maximumtemperatuur gemeten wordt. We gebruiken de maximumtemperatuur omdat hittegolven hiermee worden bepaald. Dit is in Figuur 1 uitgezet voor het noordelijk halfrond. (De warmste nachten vallen iets later in het seizoen.) Gebieden waarin een moesson voorkomt hebben de vroegste warme middagen. In India vallen die in mei of begin juni (grijs, blauw), daarna barsten de moessonregens los en wordt het niet meer zo warm. Hetzelfde is het geval in Mexico. In Florida en noordelijk China speelt hetzelfde maar met minder invloed van de regens, wat een warmste middag gemiddeld in de tweede helft van juni oplevert (lichtgroen).



Figuur 1. Gemiddelde datum met de hoogste maximumtemperatuur van het jaar (ERA-interim). In het midden van de continenten valt dit net na de hoogste zonnestand op 21 juni, dicht bij de traag opwarmende oceanen is dit later. In moessongebieden valt de piek voordat de regens beginnen, dat wil zeggen, in mei of juni.

De meest continentale gebieden hebben hun warmste dag iets na 21 juni als de zon het hoogst staat: de groene vlekken in Siberië. Grote delen van Oost-Canada en Siberië zijn maar iets minder continentaal met de piek begin juli (geel). De grote hittegolf in Quebec afgelopen zomer was dan ook voor onze begrippen vroeg: 29 juni tot 6 juli.

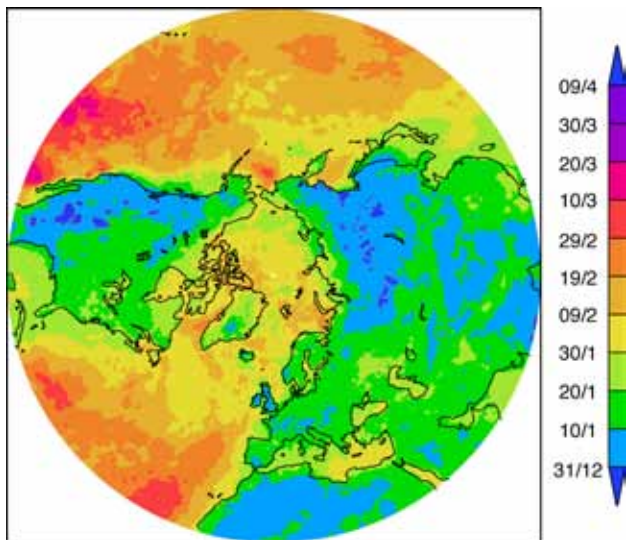


Figuur 2. Gemiddelde datum van de herfst (definitie in de tekst). Dit geeft hetzelfde land-zee contrast als in Figuur 1, maar de verschillen zijn minder groot dan in de zomer.

In De Bilt valt de warmste dag van het jaar gemiddeld over 1901-2018 rond 9 juli, met een spreiding van 27 dagen. Er is een niet-significante trend naar een latere warmste dag van ongeveer 10 dagen, zodat andere stations met kortere reeksen rond half juli uitkomen. De hittegolven in 2018 waren dus wat later dan gemiddeld, met de hoogste temperatuur op 27 juli.

Herfst

Voor de tussenseizoenen moeten we een iets andere definitie gebruiken. Een voor de hand liggende methode is om de herfst te definiëren aan de hand van de gemiddelde seizoenscyclus: de laatste dag van het jaar dat de temperatuur gemiddeld hoger is dan de mediaan van alle temperaturen van die klimatologische cyclus. De resultaten van deze definitie zijn uitgezet in Figuur 2. We zien iets minder variatie dan in de warmste dag van het jaar. De verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door het land/zee contrast: de oceaan koelt minder snel af dan



Figuur 3. Gemiddelde datum met de laagste daggemiddelde temperatuur van het jaar. Droge gebieden hebben een eerdere koudste dag dan natere gebieden en boven de oceanen valt die nog later.

het land. De invloed van de oceaan is nog honderden kilometers landinwaarts van de kusten te zien.

Winter

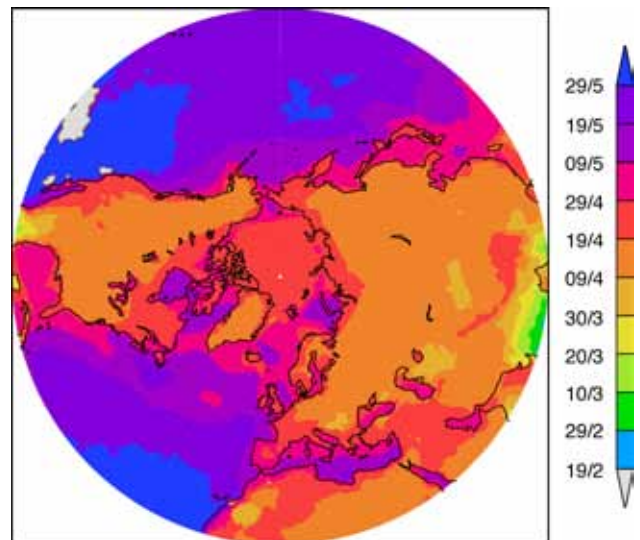
Voor de winter nemen we de gemiddelde datum van de laagste daggemiddelde temperatuur, zie Figuur 3. We gebruiken hier de daggemiddelde temperatuur omdat deze van belang is voor bijvoorbeeld de stookkosten. De spreiding hierin is minder groot boven land dan in de zomer. In westelijk Noord Amerika, oostelijk Siberië en de Sahara treedt de koudste dag gemiddeld in de eerste decade van januari op, terwijl dat voor de rest van het landoppervlak de tweede decade is. De gebieden met een vroege koudste dag zijn allemaal relatief droog; het vermoeden is dat de verschuiving daarmee samen hangt. In Europa vallen de koudste winterdagen iets eerder in de Britse eilanden en in sommige gebergtes; dit is vooralsnog onverklaard, en wellicht is het zelfs toeval. Winters zijn namelijk zeer variabel.

De gemiddeld koudste dag in De Bilt is 11 januari met wederom een forse spreiding van ± 25 dagen (1σ). De winter van 2018 had de op twee na laatste koudste dag van de reeks op 28 februari. Alleen in 2004 (4 maart) en 1931 (10 maart) was de koudste dag van de winter later.

Lente

De lente kunnen we definiëren zoals de herfst: de eerste dag in de klimatologische seizoenscyclus dat de temperatuur boven de mediaan daarvan uitkomt. Deze kaart (Figuur 4) is mogelijk nog saaier dan die van de herfst: bijna overal begint het voorjaar rond half april. De verschillen zijn minimaal en merendeels te verklaren door de trage oceaan.

Een complementaire definitie is de datum van de eerste week dat de temperatuur boven de 15°C uitstijgt, want deze temperatuur geeft velen een lentegevoel. Deze definitie heeft uiteraard een sterke noord-zuid gradiënt, zie Figuur 5. In de lichtblauwe gebieden wordt het niet koeler dan 15°C , terwijl het in de witte gebieden nooit zo warm wordt. In Noord-Amerika schuift het voorjaar relatief langzaam naar het noorden, want er moet daar eerst veel sneeuw gesmolten worden. Mijn Canadese vrienden zijn in april altijd erg chagrijnig als het voorjaar in Nederland allang begonnen is en bij hun nog niet. Neder-

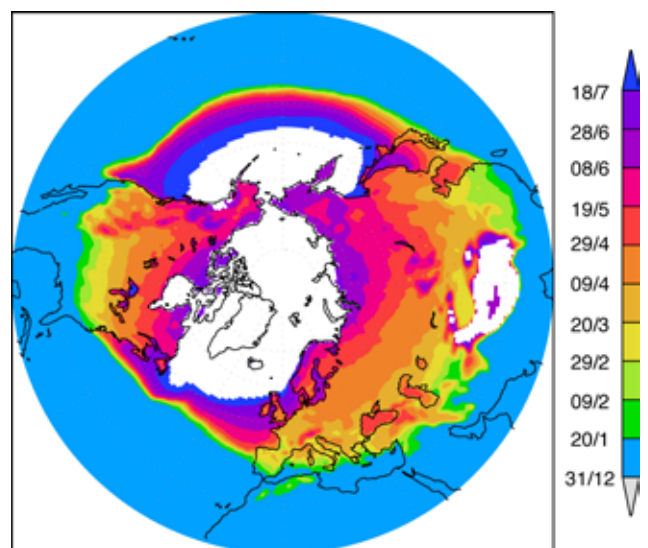


Figuur 4. Gemiddelde datum van de eerste dag waarop de seizoenscyclus in temperatuur hoger wordt dan de mediaan. Bijna overal op het land treedt dit in de eerste week van april op.

land heeft voor zijn breedtegraad een extreem vroeg voorjaar: verder naar het westen blijft het langer koel door de oceaan, verder naar het oosten door de afsmelting van de sneeuw.

Conclusie

Uiteraard komen hittegolven in de zomer voor en koudegolven in de winter. Toch zijn er regionaal vrij grote verschillen. Deze kunnen deels verklaard worden door de enorme warmtecapaciteit van de oceaan, die traag reageert op de zonnestraling en ver na de hoogste zonnestand zijn hoogste temperatuur bereikt. Dit effect is ook aan de kusten goed merkbaar. In het voorjaar zien we het effect van smeltende sneeuw op de datum van het bereiken van de eerste week boven de 15°C , maar niet in het bereiken van de jaargemiddelde temperatuur. Andere verschillen in de datum van de koudste dag zijn voor zover bekend nog onverklaard.



Figuur 5. Gemiddelde datum van de eerste week waarop de gemiddelde temperatuur boven de 15°C komt. In Noord-Amerika smelt de sneeuw langzaam naar het noorden weg; in Azië gaat dat veel sneller en ook meer vanuit het westen. Omdat ook de oceaan een na-ijlend effect heeft ervaart Nederland, gelegen tussen zee en sneeuw, voor de 52ste breedtegraad een relatief vroeg voorjaar.

Understanding the predictability of Arctic climate

FOLMER KRIKKEN (WUR, KNMI)

Het noordpoolgebied is de afgelopen decennia aan enorme veranderingen onderhevig. Uit waarnemingen is gebleken dat de Noordpool minstens twee keer zo snel opwarmt vergeleken met de rest van de wereld, wat samengaat met een sterke afname van het zee-ijs. Deze veranderingen vormen een grote bedreiging voor het unieke Arctische ecosysteem en de inheemse gemeenschappen, maar bieden ook kansen zoals verbeterde navigatie van de legendarische noordelijke passages en betere bereikbaarheid van natuurlijke hulpbronnen. Daarom is er vanuit wetenschappelijke, ecologische en economische oogpunten een sterke behoefte aan nauwkeurige kennis over de toekomstige ontwikkeling van het Noordpoolklimaat, en met name het zee-ijs. Mijn promotie-onderzoek richt zich daarom op de voorspelbaarheid van het noordpoolklimaat op tijdschalen variërend van maanden tot een eeuw, met de nadruk op de fysische processen die deze voorspelbaarheid veroorzaken of juist beperken.

Om goede verwachtingen te kunnen maken van het zee-ijs op tijdschalen van maanden tot jaren is het belangrijk om de fysische processen te begrijpen die voorspelbaarheid kunnen bevorderen. Daarom analyseerden we de natuurlijke variabiliteit van Arctisch zee-ijs vanuit een energiebalansperspectief in meerdere klimaatmodellen. Deze analyse geeft vooral de belangrijke rol aan van de ijs-albedo terugkoppeling, het proces dat zee-ijsafwijkingen in het voorjaar weer laat terugkeren in het najaar. De rol van de oceaan ligt, in het geval van minder zee-ijs in het voorjaar, vooral in het opslaan van extra energie door zonnestraling, wat in de herfst weer wordt afgegeven aan de atmosfeer door de turbulente fluxen. Hierdoor ontstaat een verlate kleine toename in wolkenfractie, die de oorspronkelijke zee-ijs anomalie versterkt. Afwijkingen in de zonne-instraling zijn, contra-intuïtief, positief gecorreleerd met de variatie in zee-ijs. Dit is voornamelijk het gevolg van verminderde meervoudige reflectie van zonnestraling als gevolg van een afname van het oppervlakte-albedo. Dit effect compenseert de ijs-albedo terugkoppeling tot wel 50%. Observaties (voor zover aanwezig) bevestigen de belangrijkste bevindingen van klimaatmodellen.

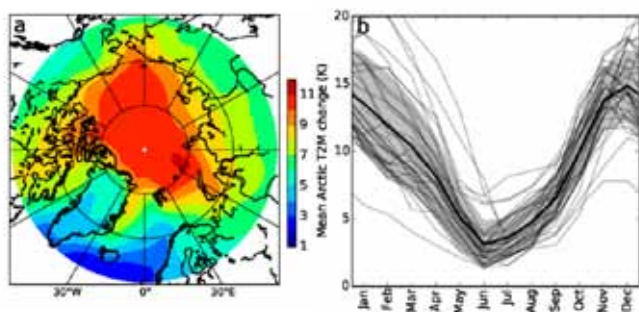
Waargenomen (en geprojecteerde) klimaatopwarming is het sterkst in de Arctische gebieden, met een piek in de

herfst/winter (Figuur 1). Pogingen om deze opwarming te begrijpen waren primair gericht op het identificeren van de bijbehorende klimaatteugkoppelingen, met name de ijs-albedo-terugkoppeling. Onze analyse richt zich daarentegen vooral op de seizoens-afhankelijkheid van extra langgolvige terugstraling op het Arctische klimaat. Dit hebben we getest in gevoeligheidsanalyses in een klimaatmodel. Hieruit kwam naar voren dat de opwarming van de Noordpool (vooral in de winter) en de achteruitgang van het zee-ijs bijzonder gevoelig zijn voor stralingsforcering in het voorjaar, waarbij de energie effectief wordt 'geabsorbeerd' door de oceaan (vanwege het smelten van zee-ijs en oceaanopwarming, versterkt door de ijs-albedo-terugkoppeling) en weer vrijgegeven in de lagere atmosfeer in de herfst en winter, voornamelijk langs de randen van het zee-ijs. De stralingsforcering in de winter daarentegen zorgt voor een meer uniforme respons gecentreerd boven de Noordelijke IJszee.

De verschillen in geprojecteerde Arctische opwarming tussen de verschillende klimaatmodellen zijn erg groot (Figuur 1). Een duidelijk reden voor deze grote onzekerheid ontbreekt momenteel. In een multi-model analyse tonen we aan dat de interjaarlijkse variabiliteit van langgolvige straling in mei in de controle simulaties (het pre-industriële klimaat) ongeveer twee derde van de onzekerheid in geprojecteerde Arctische opwarming verklaart. Deze variabiliteit, die piekt op de landmassa's grenzend aan de Noordelijke IJszee, is gerelateerd aan de gecombineerde effecten van de stralingsbalans van de wolken en de albedo-reactie op sneeuwval, welke in deze regio's beide sterk variëren tussen modellen. Deze processen bepalen de variabiliteit van langgolvige straling in het pre-industriële klimaat, maar bepalen ook grotendeels de Arctische klimaatrespons. Aangezien er geen observaties bestaan van deze processen is het helaas niet mogelijk om de modellen te verifiëren. Het is dus van cruciaal belang om deze processen beter te begrijpen met behulp van meer observationele- en modelstudies.

Goede voorspellingen van het Arctisch zee-ijs voor het komende jaar is een belangrijke, maar ook lastige opgave. Wij testen de kwaliteit van zulke voorspelling door het zee-ijs opnieuw te voorspellen in de periode 1979-2012. Hierdoor kunnen we de voorspellingen vergelijken met observaties. De seizoensvoorspellingen vertonen een grote bias in het Arctische zee-ijsgebied, voornamelijk als gevolg van een bias in de gesimuleerde seizoenscyclus en de langetermijntrend in vergelijking met observaties. Dit vertaalt zich zeer snel (binnen 1-3 maanden) in grote verschillen tussen het model en de observaties. Door middel van correcties van deze voorspellingen via statistische methodes worden de voorspellingen aanzienlijk verbeterd, en bieden meer informatie dan klimatologie tot tijdschalen van 3 tot 5 maanden. Analyse van regionale voorspellingen van het Arctische zee-ijs laat zien dat de Noordoostelijke doorvaart en de Kara- en Barentsz zeeën het meest voorspelbaar zijn.

Het proefschrift is digitaal beschikbaar via <https://doi.org/10.8174/456694>.



Figuur 1. Geprojecteerde klimaatverandering (RCP8.5) in het Arctisch gebied op basis van het CMIP5 model ensemble. (a) Gemiddelde opwarming over de 21ste eeuw. (b) Seizoenscyclus van de opwarming in het Arctisch gebied.

NVBM en AVG

De nieuwe privacywet die dit voorjaar is ingegaan zal u ongetwijfeld niet ontgaan zijn. Om aan deze wet te voldoen heeft het bestuur a) een verwerkingsregister gemaakt van persoonsgegevens binnen de vereniging, b) een verwerkers-overeenkomst gesloten met de websitebeheerder en de verwerker van de Meteorologica, c) een two-factor authentication voor bestuursleden ingesteld, d) de gmail-account vaarwel gezegd, e) een privacy- en cookieverklaring aangeschaft via eenvoudigrecht.nl. Hiermee voldoet de NVBM aan de wet en gaan we veilig de toekomst in.

Boekenactie

Deze herfst is het boek *Gevoelstemperatuur* van NOS-redacteur Heleen Ekker verschenen (zie de recensie op pagina 17). Hierin geven de NOS-weerpresentatoren hun visie op de opwarming van de aarde en delen hun persoonlijke zorgen als het gaat over de klimaatverandering. Het bestuur heeft dit boek in de boekenactie gezet. Hiermee kunnen de eerste 20 leden eenmalig €7.50 korting krijgen op de gedrukte, en €5,- op de digitale versie van dit boek (zie ook www.nvbm.nl/boekenacties). Hoe werkt dit? Koop het boek, scan de bon en verstuur die samen met je gegevens naar bestuur@nvbm.nl.

Werving nieuwe bestuursleden

Per aankomende ALV (2019) zijn wij op zoek naar twee nieuwe bestuursleden: een secretaris en een student-lid. Ben je geïnteresseerd in bestuurstaken, of wil je het bestuur komen versterken, neem dan contact op via bestuur@nvbm.nl.

Najaarssymposium

Op 23 november 2018 vond het najaarssymposium plaats. Dit symposium was samen met de Nederlandse Hydrologische Vereniging georganiseerd en had als thema 'weer en water in de stad'.

Het spits werd afgebeten door Daniel Goedbloed. Daniel presenteerde het project 'Amsterdam Rainproof' waarin Amsterdammers bewust worden gemaakt van de waterrisico's in de stad. Hoofddoel van het project is een regenbestendig Amsterdam in 2050. Focus ligt op publiek-private samenwerking met als kernvraag 'hoe zorg je voor regenbestendig handelen op privaat' terrein en publieke samenwerking waarin wordt geborgd dat (extreme) regen wordt meegenomen in de uitvoering van projecten?

Daarna sprak Gert-Jan Steeneveld, die een overzicht gaf van de meteorologie van de stad. Gert-Jan begon met een korte introductie van het stedelijk hitte-eilandeffect en liet daarna enkele voorbeelden zien van recent wetenschappelijk onderzoek van het hitte in de stad. Voorbeelden waren de ontwikkeling van een Amsterdam Atmospheric Monitoring Supersite, onderzoek naar neerslag in het stedelijk gebied en de ontwikkeling van een gestandaardiseerde stresstest voor hitte.

Vervolgens was Didrik Meijer aan de beurt. Didrik begon met enkele filmpjes waarin voor Washington DC werd aangegeven waar mogelijke problemen met de waterafvoer kunnen

optreden tijdens hevige buien. Een van 'Hotspots' bleek 'the Mall' te zijn, het gebied tussen het Witte Huis en het Capitool. Vervolgens gaf Didrik een overzicht van bestaande modellen om de afvoer via rioleringssystemen te simuleren en hoe lastig het is om deze goed te kalibreren tegen metingen.

Als laatste voor de lunchpauze sprak Lisette Klok. Zij vertelde over de praktijkproblemen waar gemeenten tegenaan lopen als zij maatregelen willen nemen om de overlast door hitte tegen te gaan. Lisette heeft samen met haar collega's de 'mind-map hitte in de stad' ontwikkeld waarin alle aspecten van overlast door hitte zijn samengebracht. Vragen die aan de hand van deze mind-map kunnen worden gesteld zijn: 'welk aspect is relevant?', 'welke informatie is nodig?', en 'wie wordt betrokken?'

Na de lunch was het de beurt aan Patrick Willems, die liet zien dat Vlaanderen kwetsbaar is voor klimaatverandering, met name door de verstedelijking in Vlaanderen en het Vlaamse watertekort. Om de kwetsbaarheid te verminderen zijn op basis van het Patricks onderzoek een aantal maatregelen genomen, zoals het stellen van een maximum aan de toename van het verhard oppervlak in Vlaanderen ('betonstop') en een intelligente, klimaatbestendige inrichting van de stad.



Na Patrick gaven Lotte de Vos en Arjan Droste samen een presentatie over het gebruik van gecrowdsourcete gegevens in de hydrologie en de meteorologie. Lotte en Arjan lieten zien dat gegevens die burgers verzamelen in tuinen en op balkons waardevolle informatie bevatten. Voorwaarde is wel dat deze goed worden gescreend, waarvoor Lotte en Arjan verschillende technieken hebben ontwikkeld.

Vervolgens gaf Piet Dircke een overzicht van enkele aansprekende projecten wereldwijd. Eerst enkele Nederlandse voorbeelden zoals de Waalsprong in Nijmegen, en de boulevards van Scheveningen en Katwijk. Uniek aan deze projecten is dat de bescherming tegen hoogwater hand in hand gaat met andere belangrijke functies. Vervolgens liet Piet enkele praktijkvoorbeelden uit het buitenland zien, zoals de bescherming van New Orleans na de orkaan Katrina en de bescherming van New York na Sandy.

Als laatste was Hisso Homan aan de beurt. Hij liet zien dat het lastig is om bij voorbaat eenduidige criteria aan te geven wat betreft waarschuwingen voor hitte en droogte. Hij benadrukte dat goede waarschuwingen mede daardoor alleen kunnen worden afgegeven indien de betrokken organisaties intensief samenwerken en overleggen. Hij sloot af met de opmerking dat ook november weer (veel) te droog is.

Droog, droger, 2018?

GERARD VAN DER SCHRIER



column

“Zo droog als nu was het bijna nooit,” kopte de NRC afgelopen zomer. Toen dat artikel verscheen was de zomer 2018 hard op weg de droogste zomer te worden om die van 1976 van de eerste plaats op de droogteranglijst te verdringen. En eind juli is 2018, volgens het neerslagtekort-grafiekje van het KNMI, inderdaad droger geworden dan 1976 – al hebben de buien in de eerste helft van augustus 2018 de balans weer naar 1976 doen terugslaan.

Het punt van dit soort ranglijstjes is: hoe meet je droogte? Neerslagtekort was centraal in de berichtgeving over de droogte – dus daar beginnen we mee. Bij een neerslagtekort wordt gekeken naar het verschil tussen neerslag en verdamping, en dit verschil wordt geaccumuleerd vanaf 1 april van het lopende jaar. In het algemeen is de verdamping in het zomerhalfjaar groter dan de neerslag, dus het neerslagtekort zal gedurende de zomer oplopen. Hoe minder neerslag, of hoe groter de verdamping, des te hoger het neerslagtekort wordt.

Nu is deze maat voor droogte niet helemaal ideaal. De verdamping die berekend wordt is eigenlijk de referentiegewasverdamping en zou je – kort door de bocht – de dorst van de atmosfeer kunnen noemen. Zolang de ondergrond niet al te droog is, komt de berekende referentiegewasverdamping overeen met de verdamping op een waarneemterrein – de actuele verdamping. Het is deze actuele verdamping die je wilt gebruiken om het neerslagtekort te bepalen. Maar we zien dat als de grond droger wordt, de referentiegewasverdamping en de actuele verdamping van elkaar verschillen; de dorst van de atmosfeer wordt groter maar de actuele verdamping is gelimiteerd door het tekort aan vocht in de grond. Dus, hoe droger het weer, des te slechter de maat voor droogte.

Nu is de gekozen formule voor de verdamping zeker niet de slechtste. In een vergelijking tussen de verdamping zoals berekend door het KNMI (volgens de formule van Makkink) en de verdamping volgens een – in de hydrologie – populaire andere formule (die van Penman – Monteith) tijdens een aantal warme en droge dagen in de zomer van 1976 blijkt dat de Penman-Monteith verdamping veel groter is dan die van Makkink. De latente warmteflux wordt volgens beide formules groter dan de waargenomen totale hoeveelheid straling (wat fysisch natuurlijk niet kan), maar die van Makkink ligt daar veel minder ver boven (8%) dan die van Penman-Monteith (20%) – kortom, de laatste overschat de verdamping sterk onder droge

omstandigheden.

Hoe moet het dan wel? De Wereld Meteorologische Organisatie raadt aan om droogte te kwantificeren met de Standardized Precipitation Index (SPI)¹. Als neerslag over drie maanden wordt geaccumuleerd, waarmee de index relevant wordt voor de landbouw, dan is de zomer van 2018 inderdaad droog – iets droger dan die van 1976, en beide vallen in de klasse ‘extreem’. Maar – verrassing! – de zomer van 1921 was nog een stuk droger, en valt in de klasse ‘exceptioneel’; de meest extreme klasse die de SPI kent. Voor de tijdschaal van zes maanden, relevant voor scheepvaart, valt het met de droogte van 2018 in Nederland allemaal nog wel mee – slechts ‘gematigd’ droog, terwijl de zomers van 1976 en 1921 beide als ‘exceptioneel’ geclassificeerd worden. En inderdaad, in het lijstje met de laagste afvoer bij Lobith (gemiddeld over voorjaar en zomer) staat 1921 met stip op één.

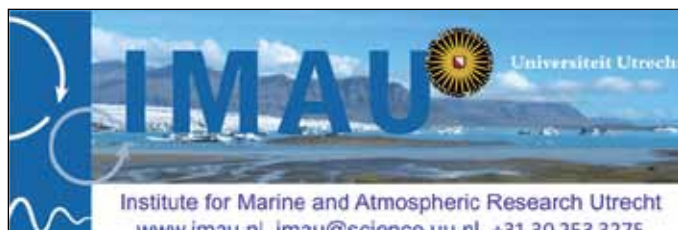
Het maakt dus nogal uit hoe droogte gekwantificeerd wordt als het om ranglijstjes gaat. Het punt is ook dat het voor droogte zinvol is om naar de impact te kijken en je bij het opstellen van ranglijstjes niet alleen te laten leiden door de kille getallen.

De impact van de droogte van 1921 geeft een interessant perspectief; de Telegraaf bericht op 21 juli 1921: “Op den Catherij-nensingel te Utrecht lag gistermiddag een dikke laag afgevallen bladeren, die aan den herfst herinneren. De vroegtijdige dood van zooveel nuttige organen komt op rekening van de langdurige droogte.” Nu is ook in 2018 vroegtijdig bladverlies waargenomen – maar een situatie zoals hierboven beschreven hebben we toch niet gezien. Het Algemeen Handelsblad bericht op 24 mei 1921: “Ten gevolge van de langdurige droogte is het water in de polders te Zuid-Beierland dermate brak geworden, dat het vee er de nadeelige gevolgen van ondervindt, door te veel te drinken. Zelfs een geval van doodelijke afloop heeft zich voorgedaan.” Problemen met brak water hebben zich ook in 2018 voorgedaan, maar niet al in mei. Deze voorbeelden geven aan dat er een wereld te winnen is aan het classificeren van droogte door (mede) gebruik te maken van de impact van de droogte.

Welk jaar is nu het droogst? Ik denk zelf dat 1921 bovenaan de ranglijst zou moeten staan.

1. Voor elke maand worden neerslagsommen van de afgelopen 3 of 6 maanden berekend, die vervolgens gefit worden aan bijvoorbeeld een gamma distributie die daarna getransformeerd wordt tot een normale verdeling.

Sponsors van de Nederlandse Vereniging ter Bevordering van de Meteorologie



Colofon

Redactie

Hoofdredacteur: Richard Bintanja (e-mail: bintanja@knmi.nl, tel: 030-2206499).

Redactieleden: Wim van den Berg, Aarnout van Delden, Robert Mureau, Rob Sluijter, Fiona van der Burgt en Ben Lankamp.

Artikelen en bijdragen

Deze dienen uitsluitend digitaal (bv. per e-mail) te worden aangeleverd, als Word document met figuren apart. Uiterste inleverdata hiervoor zijn: 1 februari, 1 mei, 1 augustus en 1 november voor respectievelijk nummer 1, 2, 3 en 4. Voor meer informatie over de procedure, zie http://www.nvbm.nl/meteorologica/informatie_voor_auteurs/

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

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

Penningmeester en administratie: Olaf Vellinga (penningmeester@nvbm.nl)

Vormgeving: Colorhouse, Almelo

Vermenigvuldiging: Colorhouse, Almelo

Abonnementen

Alle leden van de NVBM zijn automatisch geabonneerd op Meteorologica. Ook niet-leden kunnen zich abonneren door 31,- euro voor vier nummers over te maken naar IBAN: NL66INGB0000626907, BIC: INGBNL2A, ten name van:

NVBM-Meteorologica
Postbus 464
6700 AL Wageningen

onder vermelding van:
"Abonnement Meteorologica" en 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 38,- euro per jaar. Ook losse nummers kunnen op deze manier worden besteld (zolang de voorraad strekt) voor 10,- euro per stuk, onder vermelding van de gewenste jaargang en nummer(s). Instellingen betalen 65,- euro voor een abonnement. Een student-abonnement kost 16,- per jaar. Opzeggingen per email naar het bestuur (bestuur@nvbm.nl); hierbij geldt een opzegtermijn van drie maanden.

Lid worden van de NVBM

Het lidmaatschap van de NVBM kost 55,- euro per jaar. Meer informatie hierover is te vinden op de NVBM website: www.nvbm.nl. Opzeggingen per email naar het bestuur (bestuur@nvbm.nl); hierbij geldt een opzegtermijn van drie maanden.

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, 1 augustus en 1 november voor respectievelijk nummer 1, 2, 3 en 4. Tarieven zijn op te vragen bij Richard Bintanja (e-mail: bintanja@knmi.nl, tel: 030-2206499).

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 Richard Bintanja of Olaf Vellinga (zie boven).



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Werken bij het KNMI: the best place to be voor onderzoekers!

Het weer is grillig, de bodem beweegt en het klimaat verandert. Voor onze veiligheid en welvaart moeten we weten welke risico's en kansen dit oplevert.

En: hoe we ons het beste kunnen voorbereiden.

Die kennis heeft het **Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)** in huis als het nationale kennis- en datacentrum voor weer, klimaat, oceanografie en seismologie. Betrouwbaar, onafhankelijk en gericht op wat Nederland nodig heeft. Voor een veilig Nederland dat voorbereid is op de invloed van weer, klimaat en aardbevingen.

Voorbereiden, waarschuwen en adviseren

In ons dichtbevolkte land van water, wind en dijken leven we al eeuwenlang met de elementen. Nu de aarde opwarmt, de zeespiegel stijgt en extreem weer vaker voorkomt, groeit de kans dat het weer ons onaangenaam verrast. De weerkamer van het KNMI staat 24/7 paraat om Nederlanders te waarschuwen als er gevaarlijk of extreem weer dreigt. Tijdig, gericht en met oog voor de impact van het verwachte weer.

Evalueren, onderzoek en wetenschap

Na elke gebeurtenis maken we de balans op. We plaatsen incidenten in een bredere context. We willen ervan leren en nieuwe kennis opdoen. Zodat we risico's preciezer kunnen bepalen en onze kwaliteit als kennisinstituut kunnen waarborgen. Uniek aan het KNMI is de koppeling tussen operationeel en wetenschap. Praktijkervaringen kunnen meteen wetenschappelijk onderzocht worden. Kennis kan direct ingezet worden ten behoeve van de operationele diensten van het KNMI.

Uniek onderzoek bij het KNMI

In de R&D vakgroepen van het KNMI wordt gewerkt aan verbetering van het waarnemingsysteem en van de modellen. Unieke expertise ligt op het gebied van satellietmetingen van de atmosferische samenstelling. Het KNMI heeft de wetenschappelijke leiding over het TROPOMI satelliet-instrument dat in 2017 succesvol is gelanceerd. TROPOMI is de opvolger van OMI, en brengt de mondiale luchtkwaliteit in kaart. Ook wordt gewerkt aan innovatieve metingen met kleine sensoren op de grond. Op het gebied van modellering wordt gewerkt aan het HARMONIE hoge-resolutie model.

Werken bij het KNMI?

Voor onze R&D vakgroepen zoeken we regelmatig onderzoekers, zowel OIO's als post-doc's, die een bijdrage willen leveren aan ons internationaal hoog gewaardeerde onderzoek.

Kijk voor onze actuele vacatures op
www.werkenvoornederland.nl/knmi.

