

METEOROLOGICA

L' Autunno

Da "Il Cimento dell'armonia e dell'invenzione"
Op. VIII no. 3 - F. I no. 24

Antonio Vivaldi

1678 - 1741

Ballo e canto de' villanelli

Celebra il Vilanel con balli e Canti Del felice raccolto il bel piacere

Allegro

Violin Solo
f *p*

Violin I
f *p*

Violin II
f *p*

Viola
f *p*

Violoncello
f *p*

Double Bass
f

7
Vn. Solo
f *p*

Vn. I
f *p*

Vn. II
f *p*

Va.
f *p*

Vc.
f *p*

D.B.
f

WEERMUZIEK

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.

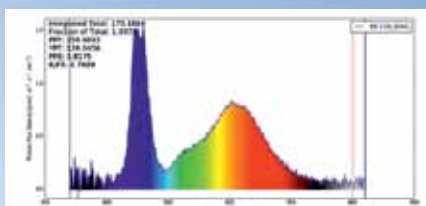
Meetbereiken:

- 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



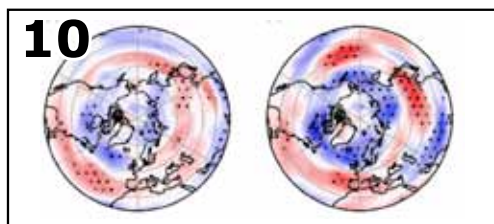
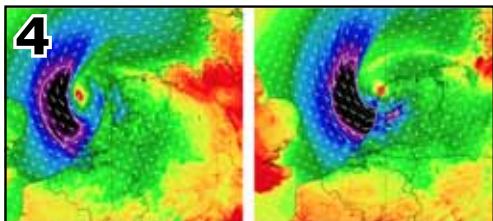
Spectroradiometers voor veld applicaties.

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

Na de warme en droge zomer van 2018 kan een beschrijving van het uitzonderlijke weer natuurlijk niet uitblijven. Robert Mureau en coauteurs laten in hun bijdrage op pagina 18 zien dat we ons niet zozeer moeten richten op de maximumtemperaturen, maar dat ook/vooral de abnormaal hoge nachttemperaturen onze aandacht vragen. Met name in stedelijke gebieden zal de nachtelijke afkoeling in warme periodes grotendeels uitblijven; dit vormt een niet onaanzienlijk gevaar voor de volksgezondheid doordat het menselijk lichaam dan niet meer kan afkoelen. Zo bleef afgelopen zomer de minimumtemperatuur tijdens meerdere nachten ruim boven de advieswaarden. Bovendien zal dit in de (nabije) toekomst alleen maar erger worden, aangezien analyses van klimaatmodellen laten zien dat de nachten relatief sterk zullen opwarmen.

Een ander belangrijk aspect van de zomer van 2018 was de intense droogte, waarbij zelfs de kurkdroge zomer van 1976 benaderd werd. Droogte is van belang voor onder meer gewassen, landbouw, en drinkwatervoorziening, en daarom is het zaak dat we toekomstige ontwikkelingen zo goed mogelijk inschatten. Dit blijkt echter niet eenvoudig. Frank Selten en Eveline van der Linden laten in hun

bijdrage in de rubriek “Klimaatbericht” zien dat klimaatmodellen niet bepaald eensgezind zijn in hun verwachting van toekomstige droogtes. Hoewel alle modellen voor Europa een duidelijke opwarming laten zien, variëren de droogte-projecties sterk, van “weinig verandering” tot “sterk toenemende uitdroging”. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat modellen onderling verschillen in voor de hydrologie belangrijke details, zoals turbulentie, wolkenvorming, en rivierafvoer.

Ten slotte kan ik met grote vreugde een nieuwe rubriek aankondigen, genaamd “Weermuziek”. Harry Geurts, oudpersvoorlichter van het KNMI, zal in deze rubriek zijn kennis van het weer met die van muziek combineren. In dit nummer richt hij zich zeer toepasselijk op de aankomende herfst, en laat hij zien hoe een aantal componisten de geluiden en gevoelens die de herfst typen in muziek hebben omgezet. Ook bespreekt hij het gebruik van alternatieve instrumenten om geluiden (bijvoorbeeld onweer) na te bootsen. Binnen het thema Weermuziek valt zeer veel te bespreken, vooral gezien Harry’s omvangrijke kennis op beide vlakken, dus we hopen dat er nog vele inspirerende columns op het snijvlak van weer en muziek zullen volgen.

INHOUDSOPGAVE

- 4 Als orkaan Ophelia Nederland had bereikt**
HYLKE DE VRIES, ERIK VAN MEIJGAARD, BERT VAN ULFT, JACCO GROENEWEG,
DEON SLAGTER, MARCEL BOTTEMA
- 10 Diepe stratosferische opwarming, sterke troposferische respons**
LARS VAN GALEN, MICHEL VAN WEELE, WILCO HAZELEGER
- 14 Minimumtemperaturen in geconserveerde duinpannen**
KAREL HOLVOET
- 18 Het belang van de minimumtemperatuur bij een hittegolf – kan ik mijn huis nog wel koelen?**
ROBERT MUREAU, JOOST WESSELING, HARMEN ZIJP
- 22 Column – Moedig voorwaarts, met/zonder verleden?**
HUUG VAN DEN DOOL
- 23 Aankondiging NHV & NVBM najaarssymposium “Weer en water in de stad”**
NVBM
- 24 Klimaatbericht – Waarom droogte lastig te voorspellen is**
FRANK SELTEN, EVELINE VAN DER LINDEN
- 26 Weermuziek – De herfst**
HARRY GEURTS
- 28 Klimaatoverzicht – Trends in de hoogste daggemiddelde temperatuur**
GEERT JAN VAN OLDENBURGH
- 29 Weerbeelden**
ROB SLUIJTER
- 29 The Harry Otten Prize for Innovation and technology**
- 30 Column – Hoge resolutie**
LEO KROON
- 31 NVBM Sponsors en Colofon**

Advertenties

- 2 CaTeC**
- 9 IMAU – Universiteit Utrecht**
- 17 Wageningen Universiteit**
- 21 Meteorological Technology World Expo 2018**
- 25 Wittich en Visser**
- 32 KNMI**

Voorkant

Bladmuziek van het vioolconcert “De Herfst” uit de “De Vier Jaargetijden” van Antonio Vivaldi (1723); “Riviergezicht met de stad Weesp” van Salomon van Ruysdael (1650).

Als orkaan Ophelia Nederland had bereikt

HYLKE DE VRIES, ERIK VAN MEIJGAARD, BERT VAN ULFT (KNMI), JACCO GROENEWEG (DELTAARES), DEON SLAGTER, MARCEL BOTTEMA (RWS)

Ophelia was een bijzondere storm in het exceptionele Atlantische orkaanseizoen 2017. Zeer noordoostelijk ontstaan, sloeg ze een bezoek aan het Caribisch gebied over, sneed direct noordwaarts af, onderging extratropische transitie, om later met veel wind en hoge golven in Ierland te landen. Qua route leek Ophelia op een storm uit een reeks hoge-resolutie KNMI klimaatsimulaties ("Future Weather"), met als markant verschil dat laatstgenoemde optrad in een mogelijk klimaat van 2098, terwijl Ophelia in oktober 2017 plaatsvond. Was Ophelia de klimaatmodellen een kleine eeuw te snel af? Had Ophelia Nederland kunnen bereiken? In dit artikel doen we een eerste verkenning van deze 'Wat, als?' vraag en kijken aan de hand van modelsimulaties met het regionale weermodel HARMONIE, het golfmodel SWAN en het waterbewegingsmodel WAQUA naar de impact (wind, golfhoogte en wateropzet op het IJsselmeer) van een direct over Nederland trekkende Ophelia.

Hoe Ophelia ontstond

Ophelia (oktober 2017) was een buitenbeentje in een toch al buitengewoon heftig Atlantisch orkaanseizoen. Na Harvey (categorie 4 op de schaal van Saffir-Simpson, C4), Irma (C5), Jose (C4) en Maria (C5), vormde zich begin oktober opnieuw een Atlantische depressie, die, na enige weifeling, die we nog nader zullen uitleggen, de structuur en eigenschappen kreeg van een tropische cycloon (TC), genaamd Ophelia. Ophelia ontstond echter veel oostelijker en noordelijker dan normaal, ten noorden zelfs van de subtropical jet, op een breedtegraad waar normaal gesproken alleen extra-tropische stormen of hybride stormen (orkanen die extratropische transitie hebben ondergaan) voorkomen. Ophelia ontstond dan ook als extratropische depressie, maar trok, ingeklemd tussen twee zones met enorme verticale windschering, in eerste instantie zuidwaarts. De reden waarom Ophelia kon uitgroeien tot TC was dan ook niet de hoge zeewatertemperatuur (SST). Vaak wordt als criterium voor TC-formatie de 26 °C isolijn van SST gehanteerd. In geval van Ophelia was hieraan niet of slechts marginaal voldaan. Dit criterium is echter niet dwingend. Als de lucht bovenin voldoende koud is, of, preciezer uitgedrukt, als het temperatuurverschil tussen oppervlakte en de hogere luchtlagen groot genoeg is, en de windschering

niet al te sterk, kan soms toch een structuur worden opgebouwd (en blijven bestaan) met TC-achtige eigenschappen. Daarnaast moet ook aan de SST ondergrens van 22.5 °C voldaan worden om voldoende vocht beschikbaar te hebben. Dit was geen probleem in het geval van Ophelia: de SST was enkele graden hoger dan normaal, terwijl de bovenlucht inderdaad relatief erg koud was. Als TC volgde Ophelia een ander pad dan de eerdere orkanen, en ging niet richting Caribisch gebied, maar trok vrijwel direct naar het noordoosten (Figuur 1). Ondertussen onderging ze extratropische transitie, waarna ze weer sterk uitdiepte. Uiteindelijk kwam Ophelia als extratropische storm met veel wind en hoge golven in Ierland aan land, maar nam daarna snel sterk in kracht af om in Noord-Europa helemaal uit te doven.

Onderzoeksvragen

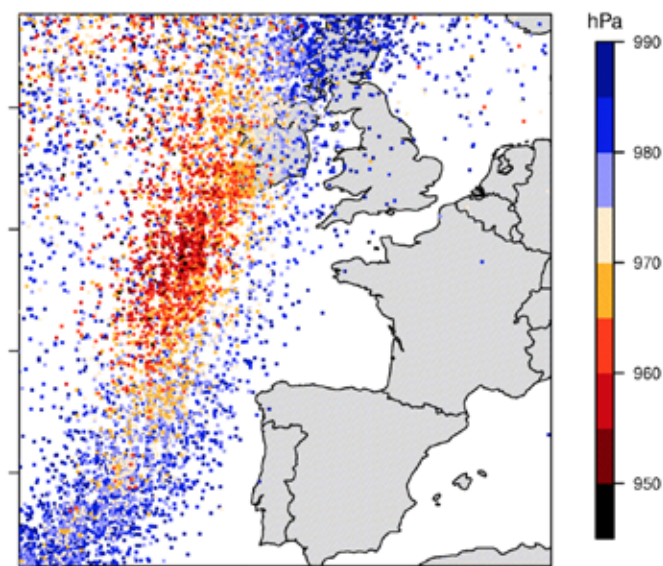
Wat maakt Ophelia zo interessant? Allereerst de ontstaansregio. Zo oostelijk was een TC nog niet eerder ontstaan. Ophelia's pad was opvallend genoeg vrijwel gelijk aan dat van een orkaan uit een reeks hoge-resolutie "Future-Weather" KNMI-klimaatsimulaties (Haarsma et al., 2013; Baatsen et al., 2014; Dekker et al., 2017). "Future-Weather" was een uniek project omdat destijds (en trouwens nog steeds)

toekomstprojecties vrijwel uitsluitend gemaakt werden door middel van klimaatmodellen met relatief lage resolutie. Zo laag zelfs dat TC's daarin niet goed opgelost worden. Hét verschil tussen Ophelia en storm 'Amy' uit de Future-Weather simulaties, is dat laatstgenoemde optrad in oktober 2098 in een klimaat dat enkele graden warmer is dan vandaag de dag. Het lijkt er dus op dat Ophelia de modellen bijna een eeuw te snel af was, al is dit lastig met zekerheid te zeggen.

Nadien ontstonden zich tussen het KNMI, Deltares en Rijkswaterstaat (RWS) een discussie over de extreem



Figuur 1. Het pad van Ophelia (de lijn die over Ierland trekt) en de andere TC uit 2017 (bron: Wikipedia).



Figuur 2. Locaties van MSLP-minima in het ECMWF-ensemble in de periode voorafgaand en rondom de tijd dat Ophelia zich binnen het domein bevond. Om overlap te vermijden is ieder punt willekeurig verplaatst binnen een box van 1×1 graden.

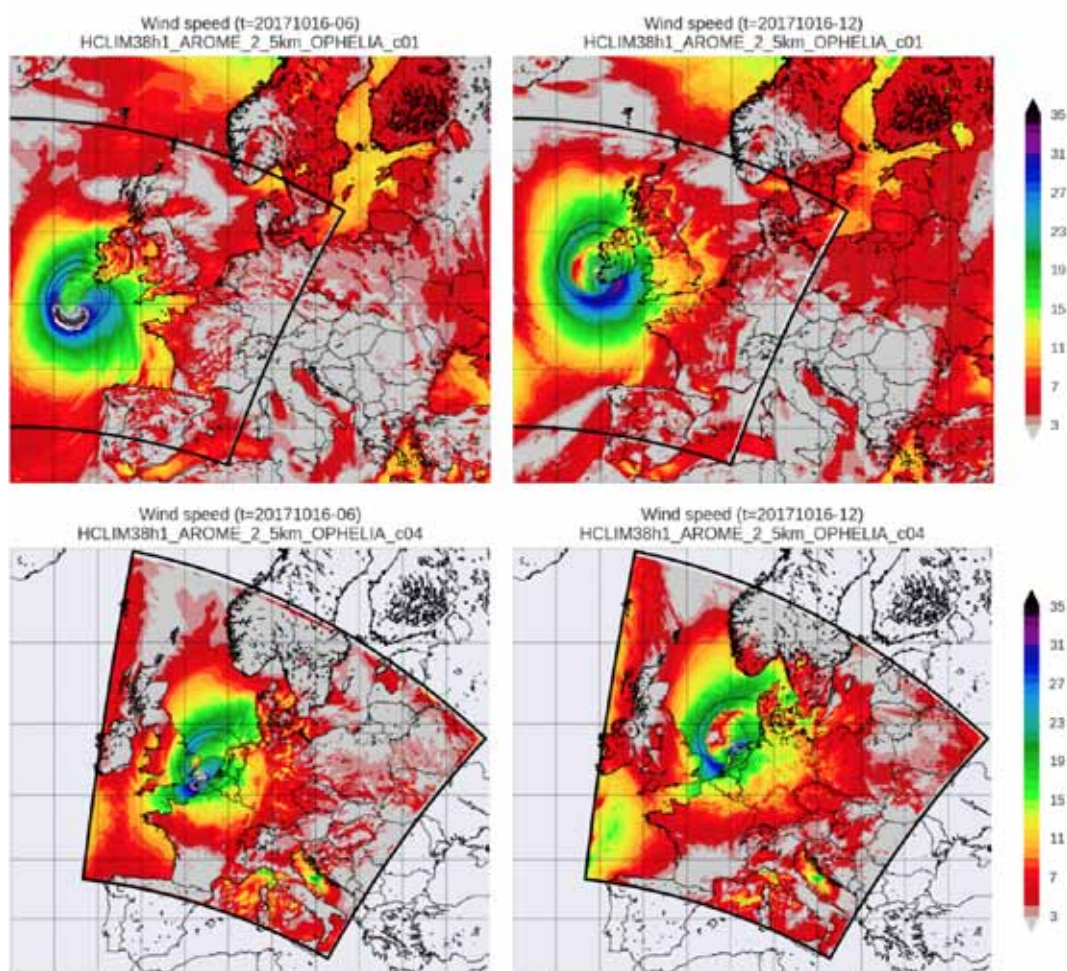
oostelijke route van Ophelia. Omdat de route van stormen voor een belangrijk deel bepaald wordt door de grootschalige achtergrondstroming, had Ophelia in iets andere omstandigheden mogelijk zelfs Nederland kunnen bereiken. Zou het voor een orkaan als Ophelia inderdaad mogelijk zijn om relatief ongeschonden door het Kanaal te trekken en Nederland te bereiken? In dit artikel kijken we in meer detail naar de route van Ophelia. Ook doen we simulaties met het hoge-resolutie model HARMONIE-AROME waarin we Ophelia opzettelijk een nóg oostelijker pad laten nemen, en kijken met behulp van het waterbewegingsmodel WAQUA en het golf-model SWAN naar de mogelijke consequenties hiervan voor de golven en wateropzet in het IJsselmeer, een typisch Nederlands watersysteem.

Op zoek naar een oostelijke Ophelia-variant

Om te bepalen of Ophelia een oostelijker pad had kunnen nemen, bestuderen we eerst realisaties van het operationeel Ensemble van het

ECMWF. Op het ECMWF wordt vier maal per dag een 50-leden tellend ensemble van verwachtingen gemaakt. Voor deze analyse hebben we de druk op zeeniveau (mean sea-level pressure, MSLP) opgehaald voor de dagen rondom Ophelia. Daarna werd in het relevante domein voor elk tijdstip gezocht naar het minimum in MSLP. De locaties van alle minima (voor zover die onder de 990 hPa lagen) zijn weergegeven in Figuur 2. De laagste minima werden allemaal gevonden in de buurt van de uiteindelijke baan van Ophelia. Daar waar de minima oostelijker lagen, diepte de storm (veel) minder sterk uit. Geen enkele duidelijke reeks minima trekt over Londen, laat staan Nederland. Hieruit concluderen we dat er in het ECMWF-ensemble van 10-16 oktober 2017 geen storm te vinden is die een veel verder oostelijker route nam. De grootschalige condities stonden dit blijkbaar niet toe.

Hoewel in de beschikbare models-runs een oostelijkere track in de richting van Nederland dus niet werd gevonden, is er geen fysische reden aan te nemen dat dit in principe niet zou kunnen plaatsvinden. Er bestaan meer datasets waarin we kunnen zoeken. Mogelijk is een oostelijke Ophelia-achtige variant ooit opgetreden in het archief van de ECMWF seasonal forecasts, of in een andere periode van het ECMWF ensemble. Een uitgebreide zoektocht in data-archieven valt echter buiten het kader van dit artikel. Om toch een Ophelia-achtige storm boven Nederland te krijgen, hebben we een andere aanpak gekozen. We gaan de storm “handmatig” een andere route laten nemen.



Figuur 3. Simulatie van Ophelia met behulp van HARMONIE (binnen-domein) en ECMWF (buiten-domein) 6 en 12 uur na initialisatie (boven). Kleuren tonen de 10m-windsnelheid (m/s) en contouren de MSLP. De witte contour toont het gebied met windsnelheden hoger dan 12 Bft. De NEST-EC simulatie (experiment c04) waarin Ophelia is verschoven (onder).

Simulaties met HARMONIE-AROME

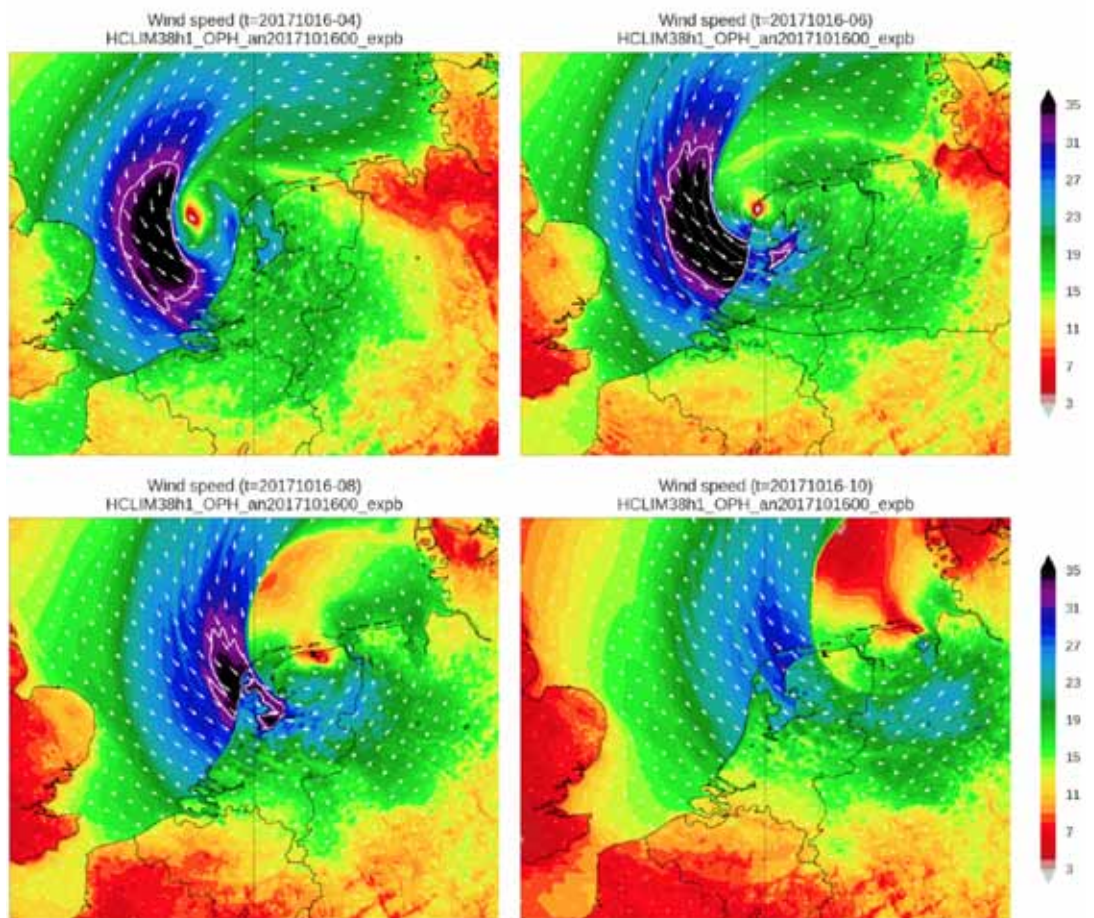
Het regionale weermodel HARMONIE-AROME (HARMONIE vanaf hier) wordt op het KNMI en op een aantal andere Europese weerinstituten voor het opmaken van de dagelijkse weersverwachting gebruikt, en wordt daarnaast ook toegepast voor klimatsimulaties en -onderzoek. HARMONIE lost de niet-hydrostatische bewegingsvergelijkingen op hoge resolutie op (2.5 km in de horizontaal). Bij een regionaal model zoals HARMONIE komen de randcondities en de initialisatie van een zogenaamd host-model. In ons geval gebruiken we hiervoor analyses van het ECMWF, of output van het regionale model RACMO als tussen-model (keten: ECMWF → RACMO → HARMONIE). HARMONIE blijkt goed in staat om Ophelia te simuleren (Figuur 3 boven). Ophelia diept in HARMONIE iets sterker uit dan in de ECMWF analyses (lagere MSLP), en ook worden iets hogere windsnelheden bereikt. We hebben geen verificatie uitgevoerd om te bepalen welke simulatie de meest accurate was.

Verplaatsen

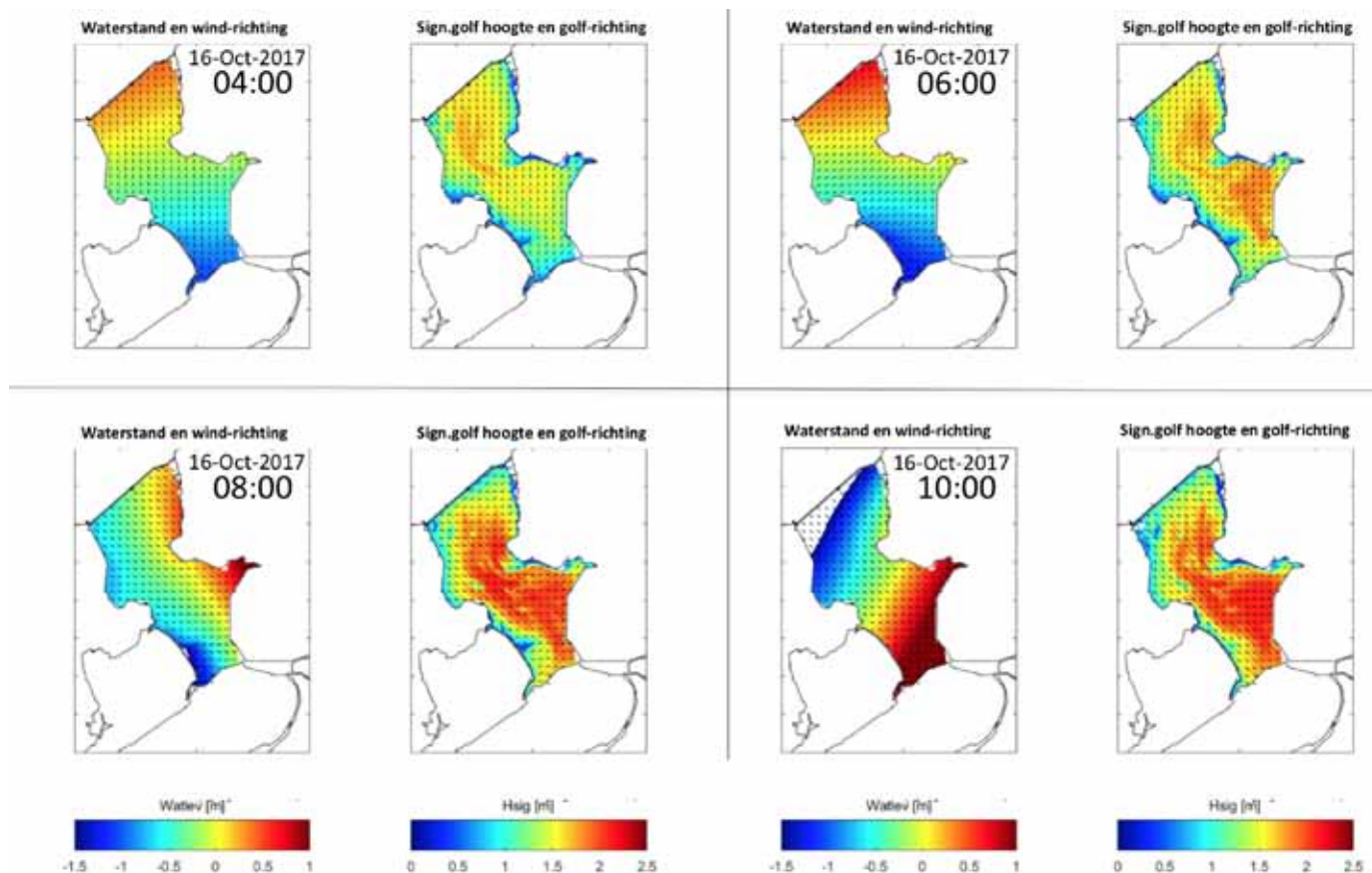
Hierna hebben we Ophelia “verplaatst”. Dit kan op vele manieren. De omvang van deze studie bood geen gelegenheid een ensemble op te tuigen om alle mogelijke paden te bestuderen. We hebben een klein aantal (10) simulaties gedaan, gebruikmakend van twee methodes. In de eerste methode (NEST-EC) forceren we HARMONIE met ECMWF randen. We halen de ECMWF randen op van de referentiesimulatie (REF). Daarna passen we een gewijzigde opzet toe, op een domein met dezelfde dimensies als REF, maar dan verschoven en licht gedraaid. Tijdens de forecast worden hierbij de SST en andere oppervlakte-velden (bijvoorbeeld de ruwheidskaart) gebruikt die passen bij het verschoven domein, maar de atmosferische randen van REF. In de tweede methode (NEST-R), gebruiken we RACMO als tussenmodel, en doen de translatie/rotatie in RACMO, met als groot voordeel dat dan in HARMONIE geen extra aanpassingen meer nodig zijn, en de onvermijdelijke onbalans tussen initiële atmosferische stroming en de oppervlaktevelden minder groot is. De 10m-windvelden passen zich snel aan en zijn daardoor bruikbaar voor verdere analyse. Andere velden zoals temperatuur en neerslag worden (bewust) niet geanalyseerd omdat

deze meer tijd nodig hebben zich aan te passen. Figuur 3 (onder) toont een van de met behulp van de NEST-EC methode verkregen Ophelia-variant, 6 en 12 uur na initialisatie. Door de opgelegde verschuiving trekt de storm door het Kanaal en langs de oostkust van de Noordzee. Het windveld is duidelijk anders dan dat van REF, zowel in amplitude als in structuur. Het gebied met windsnelheden boven 12 Bft is kleiner, en ook de ligging van de isobaren wordt beïnvloed door de nabijheid van Engeland en het Europese vasteland. Nochtans zorgen de aangepaste ruwheid- en SST-velden absoluut niet voor een complete inzakking van de storm. In die zin vormt het land geen grote belemmering.

Simulaties verkregen met behulp van de NEST-R methode geven vergelijkbare resultaten als die met NEST-EC. Ook een experiment waarbij de simulatie eerder werd gestart en de storm echt ‘zelf’ door het Nauw van Calais moest zien te komen, leidde tot een storm met orkaankracht boven de Noordzee. De nabijheid van land blijkt dus geen onoverkomelijk obstakel. Het pad lijkt grotendeels te worden bepaald door de (in ons geval opgelegde) grootschalige stroming, en hiermee dus (indirect) door de keuze van de verplaatsings- en rotatieparameters. In werkelijkheid wordt de grootschalige stroming natuurlijk wel degelijk enigszins gemodificeerd door de ligging van continenten. Opvallend is dat het uiteindelijke pad wel een behoorlijke impact heeft op het windveld dat zich ontwikkelt. In experimenten waarbij de storm langer op de Noordzee blijft, en ‘ruim’ voor de kust langstrekt, is het gebied met maximale windsnelheden groter, en worden hogere snelheden bereikt (zelfs op het IJsselmeer) dan wanneer de stormkern dwars door Nederland trekt.



Figuur 4. Ophelia-expb, de variant die boven Nederland en het IJsselmeer de sterkste winden produceerde. Kleuren en contouren als in Figuur 3. Vectors geven de windrichting.



Figuur 5. Snapshots van Ophelia-expb gesimuleerd met WAQUA/SWAN. Resultaten zijn steeds per twee panelen gegroepeerd. Links: waterniveau en windrichting; rechts: significante golfhoogte en -richting.

Impact voor het IJsselmeer

We richten onze aandacht op Nederland, en in het bijzonder op het IJsselmeer, waar we op voorhand de grootste impact verwachten. Figuur 4 toont de evolutie van de Ophelia-variant die het sterkste windveld boven het IJsselmeer genereerde. Hierbij was de verplaatsing zo gekozen dat de storm bij aanvang al het Nauw van Calais was gepasseerd, en voor de kust bij Zeeland lag. In de volgende 9 uur verplaatst deze storm zich eerst naar het noorden om vervolgens langs de Waddeneilanden richting Noord-Duitsland en Denemarken koers te zetten. Een enorm stormveld met orkaankracht is het gevolg, en Bft 12 criteria worden zelfs op het IJsselmeer en op de Waddenzee gedurende enkele uren gehaald. De maximale windsnelheid op het IJsselmeer is 33.7 m/s. Het windveld is rijk aan details, van het vrijwel windstille “oog” tot aan messcherpe overgangen nabij de fronten. De evolutie van stormen over Nederland in de andere simulaties was minder extreem.

Naast de directe impact van de extreme windsnelheden die een Ophelia-variant zoals getoond in Figuur 4 ongetwijfeld zou hebben, is het ook interessant om de wateropzet en golven in het IJsselmeer te bepalen. Een vraag die hierbij van belang is, is of Ophelia relevant of zelfs maatgevend kan zijn voor de dimensionering van waterkeringen. De Ophelia-varianten fungeren zodoende als een soort klimaat stress-test. De wateropzet en golfhoogten zijn bepaald door de wind- en drukvelden aan te bieden aan voor het IJsselmeer geconfigureerde versies van het waterbewegingsmodel WAQUA en het golfmodel SWAN. De vereenvoudiging die toegepast is, is dat er voor deze simulaties wordt uitgegaan van een ‘closed-basin’, dus zonder waterinlaat van de rivieren, en zonder wateruitlaat bij de sluisen. Drie van de Ophelia-achtige simulaties die we hebben uitgevoerd, hebben we ook doorgerekend met deze impactmodellen.

Figuur 5 toont snapshots op relevante momenten in de evolutie van het meest extreme experiment. In eerste instantie is de wind zuid tot zuidwest. De sterkte neemt dan reeds toe waardoor er hoge golven ontstaan op het noordelijk en later ook het oostelijk deel van het IJsselmeer. Tevens wordt het water in het noordelijk deel flink opgestuwd. Terwijl de storm verder in kracht toeneemt, verplaatst deze zich ook, en de kern trekt langs Texel en de andere Waddeneilanden. Hierdoor draait de wind richting west tot noordwest. De hoogste golven komen dan in het (zuid)-oostelijk IJsselmeer voor waar de fetch het langst is. Terwijl initieel het hoogwater zich aan de noordelijke kant van het basin bevond, verplaatst het hoogwater-maximum zich snel richting het zuidoosten, waar dan ook de hoogste golven voorkomen. Aan de noordwestelijke kant neemt de waterhoogte logischerwijs zeer sterk af (≤ -1.5 m). Omdat de storm daarna snel verder trekt, blijft het uiteindelijk aantal uren met zeer hoge golven in combinatie met hoogwater beperkt. Uit deze simulaties wordt duidelijk dat de impact op de westkant van het IJsselmeer gering is. Deze is het grootst aan de zuidoostkant (Flevopolders).

Figuur 6 toont de tijdreeks van de relevante parameters voor een locatie bij de Noordoostpolder. De rode lijnen tonen de resultaten voor de hierboven beschreven simulatie. Hoogwater en maximale golfhoogten worden vrijwel tegelijkertijd bereikt, niet lang na het bereiken van de maximale windsnelheid. De maatgevende normwaterstand van +1.65 m NAP wordt bij deze kering niet bereikt in dit experiment vooral omdat de noordwesterstorm relatief kort aanhoudt. De combinatie van golven en waterstand in dit experiment leiden op slechts één locatie tot bijna maatgevende condities voor bijvoorbeeld de hoogte en bekleding van de kering.

Discussie

De vraag is wat een case-studie als deze impliceert. Er is immers geen kans toe te wijzen aan het optreden van een Ophelia-variant boven de Noordzee. We hebben een dergelijke variant niet in het ECMWF-ensemble aangetroffen en deze bevond zich ook niet in de Future-Weather simulaties. Het ‘mini-ensemble’ van HARMONIE simulaties (~10 simulaties, waarvan 3 door-gerekend voor de impacts) is niet groot genoeg om te kunnen bepalen of we echt de sterkst mogelijke Ophelia-variant hebben gevonden. De studie berekent slechts de mogelijke gevolgen voor een “wat-als” situatie: wat gebeurt er als we de grootschalige stroming hetzelfde houden zoals waargenomen, maar deze enkele graden oostwaarts verplaatsen en licht roteren? Duidelijk is geworden dat Ophelia-varianten dan zeker niet meteen instorten. Ze trekken door het Nauw van Calais, en re-intensiveren op de Noordzee. De uiteindelijke impact voor Nederland (IJsselmeer) hangt hierbij sterk af van de precieze route, zoals de ligging voor de kust en de treksnelheid. Voor de kust langs-

trekkende stormen lijken sterker te worden (en meer impact te hebben op bijvoorbeeld het IJsselmeer) dan degene die sneller aan land gaan. Een interessant vervolgonderzoek zou kunnen zijn om de temperatuur van de atmosfeer en het zeewater te verhogen, vergelijkbaar met wat gedaan is in de Future-Weather simulaties, en te bepalen of Ophelia (of een variant daarvan) in dat geval systematisch sterker zou uitdiepen.

De mogelijkheid van een Ophelia-achtige storm in het huidige dan wel toekomstige Nederlandse stormklimaat kan implicaties hebben voor de benodigde dimensionering voor de waterkeringen, maar bijvoorbeeld ook op de periode waarin aan bijvoorbeeld (stormvloed)keringen gewerkt kan worden. Immers, dit soort stormen komen vooral in de late zomer en het vroege najaar voor. Zover is het echter nog niet. Door te verkennen of de benodigde windstatistiek gebaseerd kan worden op een langjarige reeks van gemodelleerde wind in plaats van op een extrapolatie van metingen kunnen dit soort fenomenen wellicht nauwkeuriger worden meegenomen. Dit onderzoek door het KNMI, Deltares en RWS zal naar verwachting binnen enkele

jaren meer inzicht opleveren wat betreft de noodzaak van een update van de windstatistiek waarop waterkeringen worden gedimensioneerd.

Dankwoord

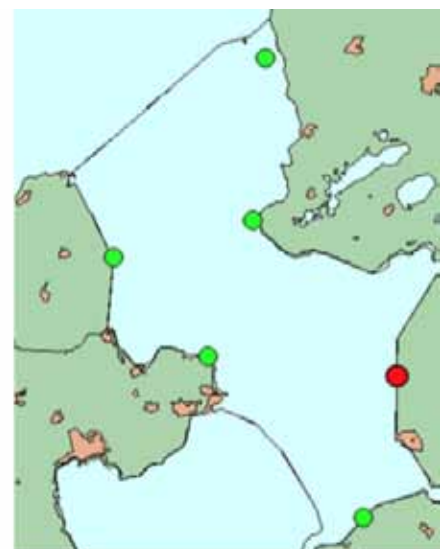
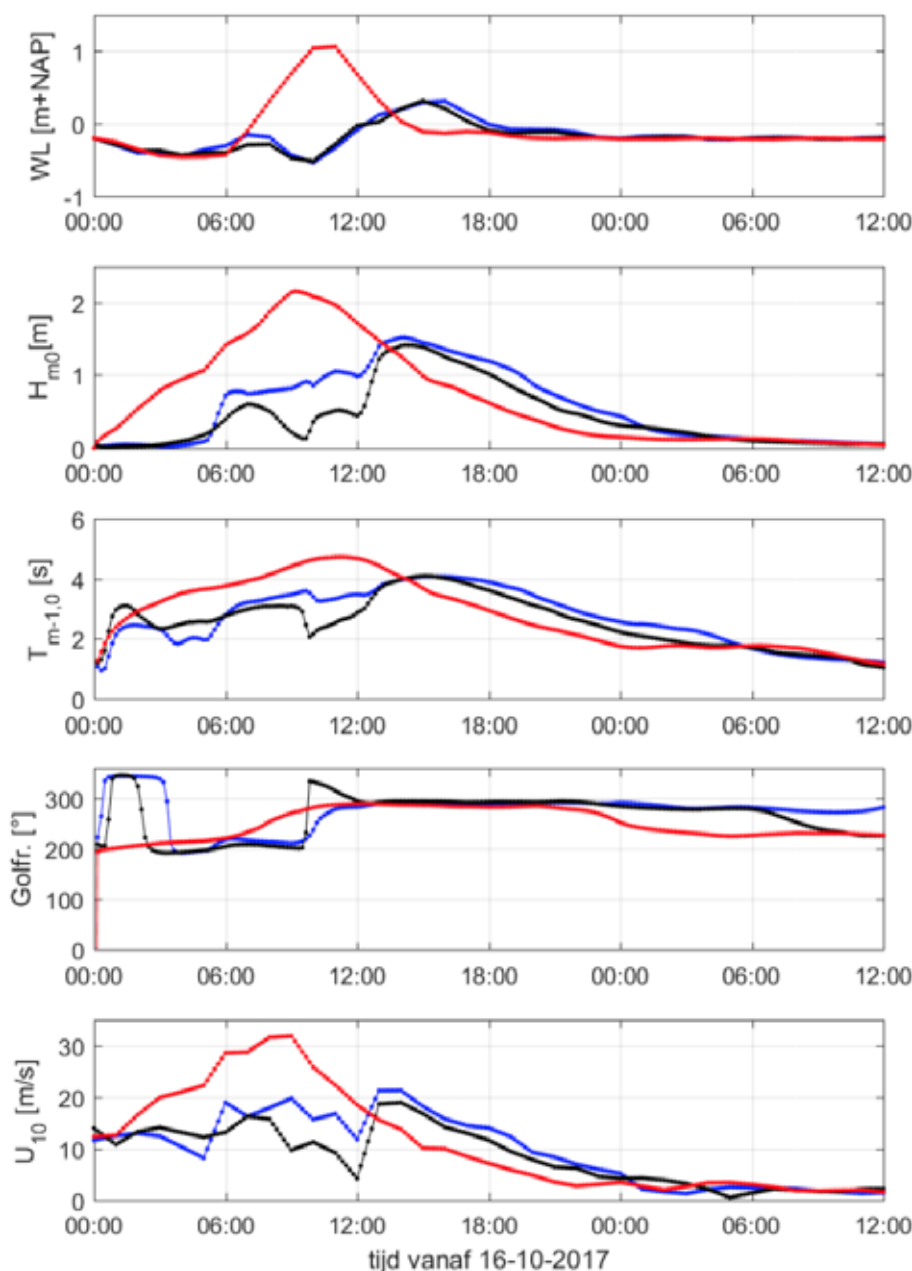
Met dank aan Rein Haarsma, Henk van den Brink, Sophia Cares.

Referenties

Baatsen M, Haarsma RJ, van Delden A, de Vries H (2014) Severe autumn storms in future western Europe with a warmer Atlantic ocean. *Climate dynamics* 45, 949–964, DOI 10.1007/s00382-014-2329-8.

Dekker MM, Haarsma RJ, de Vries H, Baatsen M (2017) Characteristics and development of European cyclones with tropical origin in reanalysis data. *Climate Dynamics* 50(1–2), 445–455, DOI 10.1007/s00382-017-3619-8.

Haarsma RJ, Hazeleger W, Severijns C, de Vries H, Sterl A, Bintanja R, van Oldenborgh GJ, van den Brink HW (2013) More hurricanes to hit Western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters* 40, 1783–1788, DOI 10.1002/grl.50360.



Figuur 6. Tijdreeksen voor drie van de simulaties voor de locatie in de Noordoostpolder (rode punt in rechter paneel). De rode lijnen zijn voor het experiment beschreven in de tekst (Ophelia-expb). Van boven naar beneden: waterstand, golfhoogte, golfperiode, golfrichting en windsnelheid op 10 m. Locaties waarvoor de tijdreeksen zijn bepaald (kaart rechtsonder).



Universiteit Utrecht

Climate Physics

Master's Programme at Utrecht University, The Netherlands

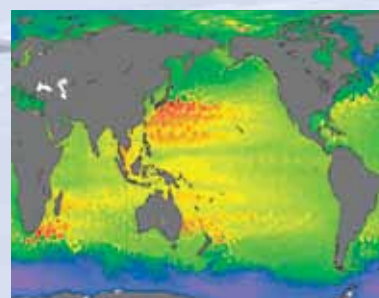
This Master's programme offers a unique combination of theoretical courses and practical training in all aspects of the climate system. Physics, dynamics and chemistry of the atmosphere, the oceans, the glaciers and ice sheets and their interaction are the core of this programme.

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



Diepe stratosferische opwarming, sterke troposferische respons

LARS VAN GALEN, MICHEL VAN WEELE (KNMI), WILCO HAZELEGER (NETHERLANDS eSCIENCE CENTER, WAGENINGEN UR)

Het is 12 februari 2018, een rustige Nederlandse winterdag met een paar winterse buien. Niets wijst erop dat er vanaf die dag in de hoge luchtlagen een grootschalige en abrupte verandering plaatsvindt. In de stratosfeer boven de Noordpool voltrekt zich namelijk een plotselinge stratosferische opwarming, een Sudden Stratospheric Warming (SSW). Op zo'n 30 km hoogte stijgt de temperatuur met meer dan 30 °C in slechts een paar dagen tijd. Twee weken later, vanaf 25 februari, is Nederland een week lang in de ban van een winterse periode. Op veel plaatsen kan zelfs geschaatst worden. Zou er een relatie kunnen zijn tussen deze late winterse periode en de eerdere dramatische veranderingen in de grootschalige stratosferische circulatie? Wetenschappelijk gezien is het bekend dat SSW's kunnen leiden tot impact in de troposfeer, maar de timing en grootte daarvan is lastig te bepalen en verschilt van event tot event. Specifiek voor Nederland is er nog minder bekend over de timing en grootte van SSW-impacts. Om inzicht te krijgen in of, hoe en wanneer een SSW al dan niet tot troposferische impact leidt, hebben we een classificatie ontwikkeld die gebaseerd is op de verticale uitgestrektheid van een SSW (van Galen, 2018). We laten zien dat deze classificatie een verbeterd inzicht geeft in de timing en grootte van de impact van een SSW op de atmosferische circulatie in de hogere troposfeer. Ondanks dit verbeterd inzicht blijkt de brug naar het Nederlandse winterweer aan de grond daarna nog niet zo eenvoudig gemaakt.

Plotselinge stratosferische opwarming

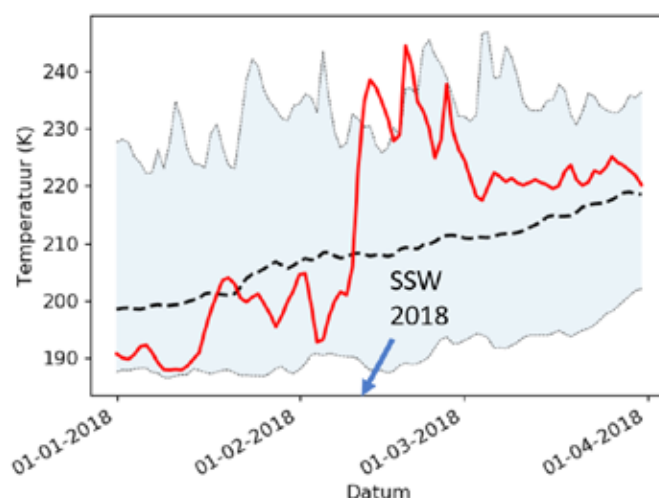
SSW's zijn plotselinge en krachtige gebeurtenissen die plaatsvinden in de stratosfeer in de winter, tijdens de poolnacht. Zonlicht kan de stratosferische Noordpool niet bereiken en de stratosfeer tussen 10 en 30 km hoogte koelt af naar temperaturen tussen -60 tot -70 °C. Hierdoor ontstaat er een groot meridionaal temperatuurverschil van 30 tot 40 °C tussen de stratosfeer boven de evenaar en de Noordpool. Tegelijkertijd vormt zich een groot lagedrukgebied in de polaire stratosfeer met daaromheen sterke westenwinden die snelheden tot boven de 200 km/uur bereiken, de zogenaamde poolwervel (Polar Vortex). De windsnelheden in deze poolwervel zijn van dezelfde orde van grootte als die van de straalstroom in de hogere troposfeer.

Normaal gesproken is de poolwervel in de winter vrij stabiel. Gemiddeld twee keer per drie jaar wordt de wervel echter in korte tijd verzwakt of in tweeën gespleten. Hierbij stijgt de temperatuur in de stratosferische poolgebieden in slechts een paar dagen tijd met meer dan 30 °C (Figuur 1). SSW's zijn dus behoorlijk felle en plotselinge gebeurtenissen in de hogere luchtlagen waar veranderingen normaal veel langzamer gaan.

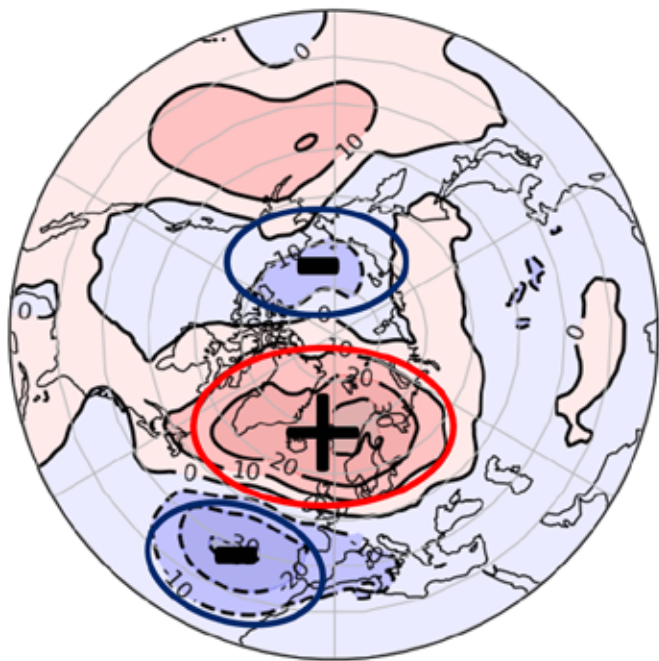
Dat er geregeld SSW's in de stratosfeer optreden, en dat SSW's invloed hebben op het weer in de troposfeer, is al vóór 1960 beschreven. Maar het onderzoek naar hoe SSW's impact hebben op het weer in de troposfeer is pas sinds 1999 in een stroomversnelling geraakt, vooral door Baldwin en Dunkerton (1999). Ook in Nederland is onderzoek gedaan naar SSW's en de impact daarvan op de troposfeer; zie daarvoor (hoofdstuk 5 van) het proefschrift van Yvonne Hinssen (2010). De impact van SSW's op de troposfeer uit zich in variaties van de Arctische Oscillatie (AO) enkele dagen tot weken na een SSW. Daarnaast leidt een SSW mogelijk tot een toename in voorspelbaarheid van de atmosfeer (zie Kader 1). De AO is het belangrijkste patroon van variabiliteit in luchtdruk in de vrije atmosfeer op het noordelijk halfrond en kenmerkt zich door variaties in de meridionale drukgradiënt tussen het noordpoolgebied en de gematigde breedten. De bijbehorende AO-index is een maat voor het drukverschil aan de grond (Thompson en

Wallace, 1998). Enkele dagen tot weken na een SSW wordt de AO-index vaker negatief (AO-). De luchtdruk aan de grond nabij de Noordpool is dan hoger dan normaal, en lager dan normaal op gematigde breedten. Een AO- hangt samen met een gemiddeld zuidelijker koers van de straalstroom en met koude-uitbraken richting gematigde breedte. Tijdens de koude-uitbraak in Nederland in februari 2018 was er duidelijk sprake van een negatieve fase van de AO (zie Figuur 2).

Toch is het niet zo dat elke SSW leidt tot een negatieve fase van de AO. Wanneer dit wel gebeurt, is het verloop van de AO-index na de SSW vaak grillig. In februari 2018 duurde het bijvoorbeeld tot ongeveer 23 februari (11 dagen na de SSW) totdat de AO-index negatief werd. Verder leidt een SSW ook niet noodzakelijkerwijs tot winterkou in Nederland.



Figuur 1. De temperatuur op 30 hPa gemiddeld tussen 80° N en de Noordpool voor 2018 (rood) uitgezet en de bijbehorende klimatologische temperatuur tussen 1981 en 2017 op basis van ERA-Interim data (zwarte stippellijn). De bovenste en onderste zwarte gestippelde lijnen zijn de uitersten waartussen deze temperatuur tussen 1981 en 2017 heeft gevarieerd.



Figuur 2. Luchtdrukafwijkingen aan de grond (hPa) over de periode 25-27 m 3-3 2018 ten opzichte van de ERA-Interim klimaatologie tussen 1981-2017.

Nieuwe classificatiemethode gericht op troposferische impact

De timing, grootte en locatie van de impact van een SSW op het weer aan de grond en in de troposfeer blijkt dus lastig systematisch te bepalen. Een van de oorzaken hiervoor is dat bij het beoordelen van de impact vaak wordt gekeken naar de officiële definitie van een SSW (Butler et al., 2015). Deze definitie classificeert een SSW op basis van de zonaal gemiddelde zonale wind. De classificatie zegt dat er sprake is van een SSW zodra de zonaal gemiddelde zonale wind op het 10 hPa drukniveau (op ongeveer 30 km hoogte), op 60°N, omkeert van westelijk (de normale situatie) naar oostelijk (de SSW-situatie). Een dergelijke definitie werkt goed voor het beschrijven van de eigenschappen van de SSW in de stratosfeer zelf (Charlton en Polvani, 2007; Butler et al., 2017). Maar een windomkering zo hoog in de stratosfeer geeft weinig duiding wat betreft de grootte en timing van effecten van een SSW in de troposfeer en aan de grond.

Om meer te kunnen zeggen over de troposferische impact na een SSW, zochten we naar een classificatie die niet alleen kijkt naar de wind hoog in de stratosfeer, maar ook naar de wind op lagere hoogtes. Uit een recente studie van Palmeiro et al. (2015) blijkt dat de hoogte waarop een classificatie wordt vastgesteld inderdaad belangrijk is: hoe dichterbij de troposfeer het niveau van classificatie wordt gekozen, hoe groter de troposferische impact lijkt te zijn. Met dit in het achterhoofd blijft het van belang dat de classificatiemethode nog steeds representatief is voor de processen die plaatsvinden bij een SSW.

De classificatie die wij ontwikkeld hebben neemt de verticale uitgestrektheid van een SSW mee. De classificatie vereist dat een SSW minimaal 80 hPa dik moet zijn. Deze dikte houdt in dat over een laag van minimaal 80 hPa dik de wind op elke laag omgekeerd moet zijn, van westelijk naar oostelijk. De boven- en ondergrens zijn vastgezet op respectievelijk 10 en 100 hPa. Dit betekent dat een SSW volgens de nieuwe classificatie zich per definitie diep uitstrekt, tot in de lage stratosfeer. Een event dat voldoet aan deze classificatie

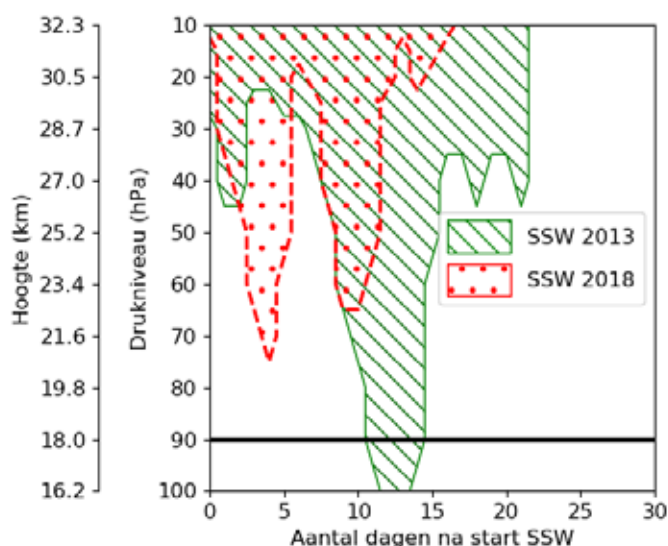
noemen we een ‘Diepe Stratosferische Opwarming’ (DSW).

Een dikte van 80 hPa is gekozen omdat (i) bij een geringere dikte de geselecteerde events vaak minder substantieel zijn en minder impact hebben nabij de grond, en (ii) bij een grotere dikte een SSW mogelijk de troposfeer bereikt, terwijl de classificatie zich uiteindelijk richt op gebeurtenissen in de stratosfeer. Verder wordt voor het classificeren van een DSW in plaats van de wind op de 60° breedtegraad (zoals bij de SSW) de zonaal gemiddelde zonale wind gemiddeld tussen de 60° en 70° breedtegraad gebruikt, omdat deze minder gevoelig is voor meridionale variabiliteit. Ten slotte worden SSW's en DSW's die buiten de winterperiode starten (hier gedefinieerd als november-maart) niet meegenomen. Voor het onderzoek zijn ERA-Interim heranalyse gegevens van de periode 1981–2017 gebruikt (Dee et al., 2011), tenzij anders aangegeven.

Selectie en typering op basis van classificatie

Hoewel de DSW-classificatie zorgt voor een andere selectie van events dan de veel gebruikte SSW-classificatie in de literatuur zijn de classificaties wel aan elkaar verbonden: twee van de drie DSW's worden voorafgegaan door een SSW. Andersom volgt na ongeveer de helft van alle SSW's een DSW. Illustratief hiervoor is de SSW van januari 2013 (Figuur 3). Een dag na de start van deze SSW draait de wind over een dikte van 30 hPa naar oostelijke richtingen. De dagen daarna wordt de SSW tijdelijk minder dik. Pas na 6 dagen wordt de SSW weer dikker, om op dag 11 alsnog een dikte van 80 hPa te bereiken. Dat is dus de dag waarop de DSW begint. Verder is het interessant om de SSW van 2018 hiermee te vergelijken. Deze SSW kende twee ‘pieken’ van 65 en 55 hPa dikte, maar een dikte van 80 hPa werd nooit bereikt. Daarom vond in 2018 na de SSW geen DSW plaats (Figuur 3).

Het verschil tussen SSW's en DSW's zien we terugkomen in de gevonden startdata (Tabel 1). Vaak wordt een SSW



Figuur 3. De diepte van de SSW's van 2013 (groen) en 2018 (rood) uitgezet tegen de tijd, beide gebaseerd op de zonaalgemiddelde wind tussen de 60e en 70e breedtegraad. Dag 0 is het begin van de SSW; dit is de dag dat de wind op 10 hPa omkeert van westelijk naar oostelijk. De rode en groene lijnen geven de diepte aan waarover de zonaal gemiddelde zonale wind tussen de 60e en 70e breedtegraad van west naar oost draait. Wanneer de SSW een diepte van 80 hPa bereikt, tussen 10 hPa en 90 hPa (de zwarte lijn), spreken we van een DSW. Dit gebeurt alleen in 2013.

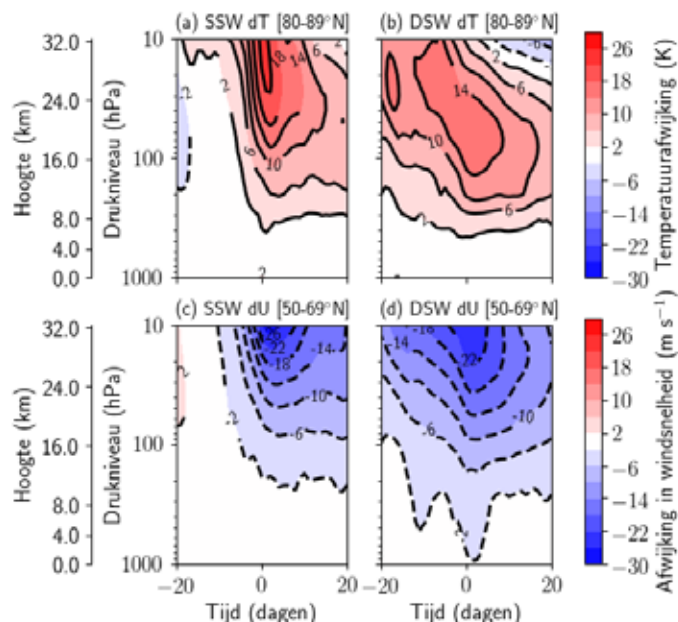
binnen enkele dagen tot weken gevolgd door een DSW. Toch zijn er ook uitzonderingen waarbij een DSW niet is voorafgegaan door een SSW, of waarbij een DSW eerder plaatsvindt dan een SSW. Dit komt echter vooral doordat onze DSW's worden geclassificeerd op basis van de gemiddelde wind tussen 60 °N en 70 °N in plaats van alleen op 60 °N. Op basis van de wind op 60 °N vinden alle DSW's plaats na een SSW. Verder blijken DSW's gemiddeld 4 keer per 10 jaar voor te komen. Dit is minder vaak dan SSW's (gemiddeld 6 keer per 10 jaar).

De verschillen in selectie tussen SSW's en DSW's zien we terug in de temperatuur- en windrespons in de stratosfeer (Figuur 4). Deze figuur toont het tijdsverloop van de verticale verdeling van de afwijkingen van de gemiddelde temperatuur over de poolgebieden in de stratosfeer en troposfeer in de dagen voor en na een SSW en DSW. Bij een SSW is sprake van een sterke opwarming in de stratosfeer rond de classificatiedatum. De opwarming heeft zich bij de start van een DSW echter vaak al enkele dagen tot weken eerder voltrokken (op het moment van de SSW): dit is te zien aan de positieve temperatuurafwijkingen in de stratosfeer in de periode voorafgaand aan de DSW. Daarom is een DSW geen 'sudden' warming. Ook de neerwaartse propagatie van een DSW is langzamer dan die van een SSW. Een DSW zegt dus meer over de verticale uitbreiding van een stratosferische opwarming en een SSW zegt meer over de intensiteit van het startmoment van de opwarming in de hogere stratosfeer.

Eenzelfde verschil in tijdverloop is te vinden in de afwijkingen van de gemiddelde wind tussen 50 en 69 °N in de stratosfeer (Figuur 4c en 4d). Bij een SSW zwakt de wind in de stratosfeer snel af rond de startdatum. Deze verzwakking heeft zich bij de start van een DSW echter al deels eerder vol-

SSW datum	DSW datum	SSW datum (vervolg)	DSW datum (vervolg)
4-3-1981	3-3-1981	11-2-2001	14-2-2001
4-12-1981	-	30-12-2001	-
24-2-1984	12-3-1984	18-1-2003	-
-	21-3-1984	5-1-2004	28-1-2004
1-1-1985	18-1-1985	21-1-2006	4-2-2006
23-1-1987	9-2-1987	-	12-2-2006
8-12-1987	-	24-2-2007	-
14-3-1988	-	22-2-2008	-
21-2-1989	12-3-1989	24-1-2009	28-1-2009
-	23-11-1996	9-2-2010	6-2-2010
15-12-1998	-	24-3-2010	-
26-2-1999	4-3-1999	6-1-2013	18-1-2013
20-3-2000	-	12-2-2018	-

Tabel 1. Startdata van SSW's op basis van ERA-Interim data tussen 1981 en 2018 volgens de officiële definitie (links; eerste dag zonaal gemiddelde windomkering van westelijk naar oostelijk op 10 hPa, 60 °N) en startdata van DSW's (rechts; eerste dag zonaal gemiddelde windomkering van westelijk naar oostelijk tussen 60 °N en 70 °N over een dikte van 80 hPa tussen 10 en 100 hPa). De SSW en DSW events zijn weergegeven als ze minder dan 30 dagen uit elkaar liggen. Dikgedrukte SSW's en DSW's zijn events waarbij na het event minimaal één ijsdag voorkwam (i) voor SSW's in de eerste 20 dagen na de startdatum en (ii) voor DSW's in de eerste 5 dagen na de startdatum.



Figuur 4. Zonaal gemiddelde temperatuuraanomalie (boven; in °C) en zonaal gemiddelde zonale (oost-west gerichte) windanomalie (onder; m/s) tijdens een SSW (links) en DSW (rechts) ten opzichte van de dagelijkse ERA-Interim klimaatologie op basis van respectievelijk 22 SSW's en 15 DSW's tussen 1981 en 2017.

trokken; wel bereikt deze pas bij de startdatum van de DSW de volledige verticale uitgebreidheid tot in de lage stratosfeer.

Brug naar de troposfeer

De opwarming behorende bij een DSW komt gemiddeld genomen dieper dan de opwarming behorende bij een SSW (Figuur 4c en 4d). Op 300 hPa (ongeveer 9 km hoogte) in de troposfeer vinden we een gemiddelde opwarming na een DSW van ongeveer 5.5 graden, terwijl deze op dezelfde hoogte na een SSW maar ongeveer 2.5 graden is. Dit verschil in temperatuurrepons gaat samen met een verschil in de zonale windrespons: de wind op 300 hPa tussen 50 °N en 69 °N verzwakt na een DSW met ongeveer 3.5 m s⁻¹; bij een SSW is dit in de weken erna slechts 1 m s⁻¹. Deze sterkere opwarming en windrespons in de troposfeer in de 5 dagen na een DSW is duidelijk te zien in Figuur 5. De sterkste windverzwakking vindt plaats waar het noord-zuid temperatuurverschil het sterkst afneemt, in overeenstemming met het principe van thermische wind (Figuur 5c en 5d).

Verder laten de windafwijkingen op 300 hPa een cirkelvormige dipoolstructuur zien (Figuur 5c en 5d). Waar de wind in een cirkel rond 60 °N afneemt, neemt die rond 30-40 °N juist toe. Gezien de klimatologische positie van de straalstroom rond deze breedtes, geven de getoonde afwijkingen aan dat de straalstroom een zuidelijkere koers volgt. Dat is een van de eerdergenoemde eigenschappen van een negatieve fase van de AO, in lijn met de verwachte troposferische respons na een SSW of DSW.

Inzoomen naar Nederland

Gegeven de sterkere troposferische respons van een DSW (ten opzichte van een SSW), is het interessant om te kijken naar de kans op koude na een DSW en SSW, hier bekeken vanuit het aantal ijsdagen in De Bilt. Hiervoor is de 5-daagse periode met het maximum aantal ijsdagen na een SSW (deze periode valt in de 5-daagse periode 10-14 dagen na de SSW) vergeleken met dezelfde periode na een DSW (deze periode

valt 0-4 dagen na de DSW) en de bijbehorende klimatologie. We hebben hier naar het aantal ijsdagen gekeken omdat (i) een ijsdag een eenvoudige maatstaf is; en (ii) het voorkomen van ijsdagen in Nederland het gevoel van winterkou goed aangeeft. Eenzelfde vergelijking met het aantal dagen waar de gemiddelde temperatuur meer dan 5 graden onder normaal ligt levert geen andere inzichten op.

De vergelijking van het aantal ijsdagen levert de volgende conclusies op. Enerzijds zorgen zowel een SSW als een DSW in bovengenoemde periode voor meer dan een verdubbeling van het aantal ijsdagen in De Bilt. Anderzijds blijkt dat de fractie ijsdagen na een DSW ongeveer gelijk is aan de fractie na een SSW. In de ‘maximumperiode’ na een SSW is per vijf dagen sprake van 0.7 ijsdagen, terwijl er na een DSW gemiddeld 0.65 ijsdagen zijn. Zonder SSW of DSW zouden er in een vergelijkbare 5-daagse tijdsperiode 0.25 ijsdagen per vijf dagen voorkomen (Tabel 2). Tot slot blijkt uit de dikgedrukte DSW's in Tabel 1 dat slechts na drie DSW's ijsdagen in de daaropvolgende 5-daagse periode voorkwamen. Het aantal ijsdagen na een DSW varieert dus sterk per gebeurtenis.

Uit de vergelijking tussen de impact van een DSW en een SSW blijkt dat de impact van een DSW aan de grond, uitgedrukt in ijsdagen in De Bilt, niet groter is, en ook niet beter te timen. De veranderingen die plaatsvinden in de hogere troposfeer na een DSW garanderen dus niet méér winterkou in Nederland ten opzichte van een SSW.

Concluderend, door naar DSW's te kijken kunnen we gericht de impact in de hogere troposfeer onderzoeken dan als we alleen naar SSW's kijken. Daarom lijkt de DSW classificatie nuttig voor verder onderzoek naar grootschalige patronen van variabiliteit en mechanismes van variabiliteit rond de algemene atmosferische circulatie. Op de schaal van Nederland geeft de DSW echter weinig extra informatie en daarmee weinig voorspellende waarde voor ijsdagen in De Bilt ten opzichte van de SSW.

In dit perspectief is het interessant om terug te kijken naar de SSW van 2018. Zoals eerder aangegeven was in februari 2018 geen sprake van een DSW (Figuur 3). Wel was

10-14 dagen na SSW	0.7
10-14 dagen na SSW – klimatologie	0.25
0-4 dagen na DSW	0.65
0-4 dagen na DSW - klimatologie	0.25

Tabel 2. Gemiddeld aantal ijsdagen per 5 dagen in de aangegeven 5-daagse perioden na een SSW of DSW en de bijbehorende dagelijkse klimatologie tussen 1981 en maart 2018. Geselecteerd zijn de 5-daagse perioden waarin het maximaal aantal ijsdagen vallen: na een SSW (10-14 dagen) en na een DSW (0-4 dagen).

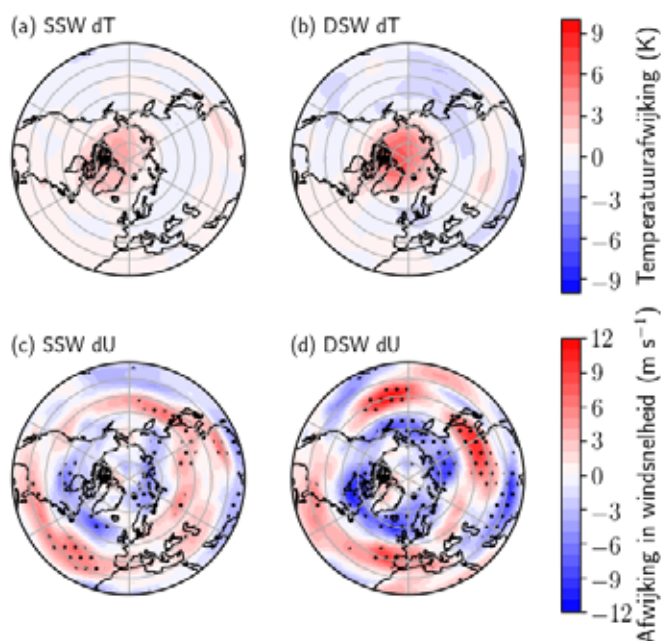
de stratosferische opwarming op enkele momenten relatief diep. De meest negatieve fase van de AO en de winterkou in Nederland (met drie ijsdagen) kwamen echter pas meer dan vijf dagen later. Hiermee laat het event van 2018 zien dat een directe link tussen de diepte van een stratosferische opwarming en winterkou in Nederland niet eenvoudig te maken is. De grote uitdaging is daarom om de dikte van de SSW procesmatig door te kunnen linken aan (verwachtingen van) winterkou in Nederland.

Kader 1 – Grotere voorspelbaarheid na SSW's?

Tijdens de koude-uitbraak na de SSW van 2018 was iets opvallends te zien: de koude-uitbraak was al 14 dagen van tevoren in het ECMWF-ensemble terug te vinden. Voor de dagen 27 februari tot en met 1 maart zagen we namelijk al op deze verwachtingstermijn een kans van meer dan 30% op temperaturen van meer dan 5 graden onder de norm. Een SSW leidt dus potentieel tot een beter voorspelbare atmosfeer, iets wat Sigmond et al. (2013) eerder ook al suggereerden. Meer onderzoek kan uitwijzen of de voorspelbaarheid van het weer in Nederland na een SSW inderdaad toeneemt.

Referenties

- Baldwin, M. P. and Dunkerton, T. J., 1999: Propagation of the arctic oscillation from the stratosphere to the troposphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104, 30937–30946.
- Butler, A.H., Seidel, D.J., Hardiman, S.C., Butchart, N., Birner, T., Match A., 2015: Defining Sudden Stratospheric Warmings. *Bull Am Meteor Soc*, 96, 1913–1928.
- Butler, A. H., Sjöberg, J. P., Seidel, D. J., and Rosenlof, K. H., 2017: A sudden stratospheric warming compendium. *Earth System Science Data*, 9, 63–76.
- Charlton, A. J. and Polvani, L. M., 2007: A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks. *Journal of Climate*, 20, 449–469.
- Dee, D. P. and coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553–597.
- Hinssen, Y., 2010: The impact of the Stratosphere on Tropospheric Climate. PhD thesis, Utrecht University.
- Palmeiro, F. M., Barriopedro, D., García-Herrera, R., and Calvo, N., 2015: Comparing sudden stratospheric warming definitions in reanalysis data. *Journal of Climate*, 28, 6823–6840.
- Sigmond, M., F. Scinocca, J., V. Kharin, V., and G. Shepherd, T., 2013: Enhanced seasonal forecast skill following stratospheric sudden warmings. *Nature Geoscience*, 6, 98–102.
- Van Galen, L., 2018: Sudden Stratospheric Warmings – developing a new classification based on vertical depth, applying theory to a SSW in 2018, and assessing predictability of a cold air outbreak following this SSW. KNMI Internal Report IR-2018-05, KNMI, De Bilt.
- Thompson, D. W. J. and Wallace, J. M., 1998: The arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 25, 1297–1300.



Figuur 5. Uitsnede van Figuur 4 op 300 hPa (ongeveer 9 km hoogte), gemiddeld over 0-4 dagen na het event. Gestippelde gebieden in Figuur 5c en 5d geven significantie aan op $\alpha = 0.9$ volgens een bootstrapping procedure.

Minimumtemperaturen in geconserveerde duinpannen

KAREL HOLVOET

Gesloten komvormige landschappen vinden we voornamelijk terug in de Alpenlanden en zijn beter bekend als ‘dolinen’. Deze ‘vorstmeren’ zijn een verzamelbak voor koude lucht als het weer helder en windstil is. De beste voorbeelden zijn de Funtensee in Beieren en Peter Sinks in de Amerikaanse staat Utah. In België zijn ook enkele kleine dolinen aanwezig. Kijken we naar Nederland, dan kun je in de kuststreek veel open en gesloten duinpannen terugvinden. Ze zijn niet gevormd door het poreuze kalkgesteente, maar door stuifzand. Na het bestuderen van meteorologische metingen in verschillende dolinen in Spanje en Roemenië vroeg ik mij af of de gesloten duinpannen langs de Nederlandse kust dezelfde eigenschappen vertonen, in de zin dat er onder bepaalde omstandigheden (vooral ‘s nachts) grote temperatuurverschillen optreden vergeleken met de omliggende landerijen. En als dat inderdaad zo is, hoe groot zijn dan de temperatuurverschillen met de reguliere KNMI-weerstations tijdens ‘optimale’ nachten?

Duinpannen selecteren

Met behulp van het programma ‘Publieke Dienstverlening Op de Kaart’ (PDOK) is het eenvoudig om de topografie van de duingebieden bloot te leggen. Deze gegevens zijn samengesteld door verschillende Nederlandse overheden en zijn vrij beschikbaar. Zodoende heb ik verschillende duinpannen uitgekozen waarin het ‘s nachts relatief koud zou kunnen worden (Tabel 1). Er bestaan geen studies die aangeven vanaf welke diepte of vanaf welke omvang het effect van afkoeling erg groot is, dus er is geen zekerheid dat de ‘ideale’ duinpannen zijn geselecteerd.

In Whiteman (2004) onderzoekt men dolinen van verschillende dieptes en volumes. Daarbij simuleert men, met behulp van een model, de minimumtemperatuur tijdens heldere en windstille nachten. Het blijkt dat de combinatie tussen een goede skyview-factor en een voldoende diepte en omvang de belangrijkste factor is om zeer lage temperaturen te bereiken. (De skyview factor beschrijft de mate waarin het open zicht al dan niet belemmerd wordt en of er dus veel langgolvige straling ‘gevangen’ blijft in de kom. Een vlak en open landschap heeft een skyview waarde van 1, en een volledig ingesloten en omringd station een waarde 0). Nederlandse duinpannen zijn nergens dieper dan 10 meter. Dit zorgt ervoor dat het potentieel om af te koelen duidelijk minder groot is dan de dolinen in het onderzoek van Whiteman (2004).

Een interessant gebied voor Nederlandse duinpannen is te vinden in ‘De Schoorlse Duinen’ (Figuren 1 en 2), ten westen van Alkmaar. Het bevat tientallen geconserveerde duinen. Deze duinpannen zijn op natuurlijke wijze ontstaan en bewaard gebleven door de aanplant van helm en andere soorten vegetatie. De duinkommen zouden mede gevormd



Figuur 1. Kaart met de locaties van de twee weerstations: Schoorl en Egmond. Daarnaast de vergelijkende weerstations Berkhout en Wijk-aan-Zee. Twente en De Bilt zijn hier niet weergegeven.

worden door haasachtigen die tunnels graven en dan later inzakken. Er zijn ook enkele kunstmatige duinpannen als gevolg van vroegere zandwinning. Via Staatsbosbeheer kreeg ik de toestemming om in deze duinen metingen uit te voeren, en men garandeerde dat mijn onderzoekslocaties op natuurlijke wijze zijn ontstaan. Kunstmatige duinkommen werden in dit onderzoek vermeden.

Net ten zuiden van De Schoorlse Duinen bevindt zich het Noord-Hollands Duinreservaat. Daar staat mijn tweede station op een kleine 2 km van het strand (Figuur 1). Daarnaast zijn er langs de Nederlandse kust nog een aantal interessante locaties, maar het is voor mij met beperkte middelen onmogelijk om in elk type duinpan een weerstation te plaatsen. Ik heb trouwens nog op een tiental andere locaties metingen verricht, maar die zijn niet interessant genoeg voor dit

Meetpunten (positie ten opzichte van het dorp)	Begin Meting	Einde Meting	Diepte (m)	Oppervlakte (m ²)	Afstand tot zee (km)
Schoorl (1 km W)	Dec 30, 1999	Dec 31, 2018	7	10000	3.5
Egmond aan den Hoef (1 km N) *	Mar 16, 2018	Aug 3, 2018	7	15000	1.8

Tabel 1: Meetplaatsen aan de Nederlandse kust. *Niet continue metingen. Het duinpanoppervlak is berekend onder het laagste punt van de kraag van de duinpan.

artikel. Op de twee hier geselecteerde locaties horen de duinkommen bij de koudste plekken van de Nederlandse kust.

De diverse KNMI-meetlocaties en Vierhouten

De KNMI-stations hebben een andere manier van meten en dus zal er ook een klein verschil zijn als we beide opstellingen vergelijken. Het gaat mij echter om te bestuderen wat de waardeverhoudingen zijn tussen de verschillende stations en niet zozeer of het verschil tot op een tiende van een graad nauwkeurig is. (In Tabel 2 staan de waarnemingen wel in tienden van een graad weergegeven). Een overzicht van de diverse meetpunten:

- * Wijk-aan-Zee ligt ook in de duinen en ligt op slechts een 20-tal kilometer afstand van Schoorl. Het heeft dezelfde ondergrond en eventuele verschillen zullen te wijten zijn aan verschillen in de vorm van de duinpannen: komvormige duinen en 'open' duinen.

- * Berkhout ligt ook slechts op een 20-tal kilometer afstand van Schoorl. Het is altijd een van de koudste stations van Noord-Holland.

- * De Bilt is het referentiestation voor heel Nederland en ligt centraler, meer naar het binnenland.

- * Twente is bekend om zijn lage minimumtemperaturen en is dus geschikt voor het onderzoek. Is het ver landinwaarts kouder?

Vierhouten ligt beschermd in de Veluwe en vormt daardoor een goede vergelijking voor dit project, maar is geen KNMI-station. Het heeft veel minder last van de wind dan reguliere KNMI-stations en kan daardoor goed vergeleken worden met mijn stations. Het blijkt lastig te zijn om locaties te vinden met bijna geen windverstoringen.

Resultaten

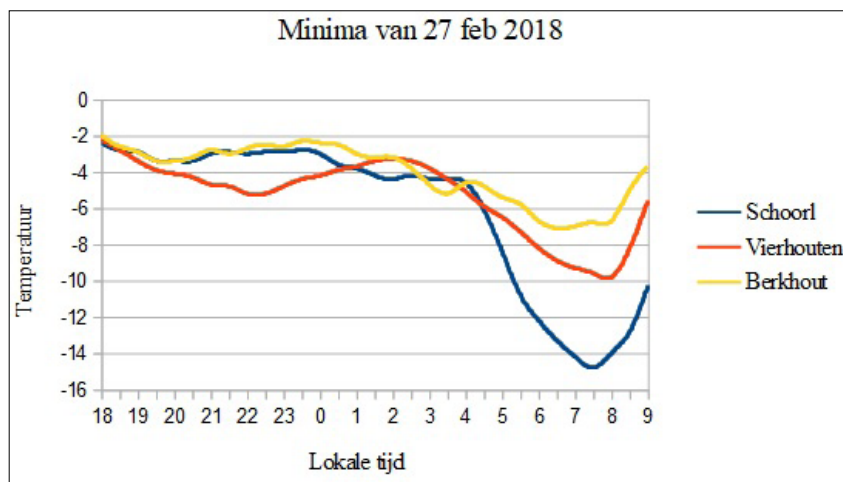
In Tabel 2 werden enkele nachten geselecteerd waarbij zich over het hele land ongeveer dezelfde gunstige weersomstandigheden voordeden. Nachten met vooral sterke afkoeling in het binnenland zijn hier niet meegenomen. Uit de tabel zijn twee nachten uitgekozen en toegelicht in Figuren 3 en 4. In Schoorl blijkt inderdaad een sterke nachtelijke afkoeling op te treden. De pure zandgrond fungeert als een betere isolator ten opzichte van andere grondsoorten waarop de meeste KNMI-stations zich bevinden. Na zonsondergang zakt de koudste lucht snel naar het laagste punt van de duinpannen. Dit zorgt voor een zeer stabiele laag die nauwelijks beïn-



Figuur 2. Het weerstation in Schoorl, dat bestaat uit een Davis stralingsschild met daarin een datalogger (links). Het meet automatisch via GPRS. De meethoogte is 1.5 meter boven de grond. Overzicht van de duinpan in de Schoorlse duinen met centraal in beeld het weerstation (rechts).

vloed wordt door de bovenliggende atmosfeer gedurende de rest van de nacht. Enkele uren na zonsondergang wordt het stralingsevenwicht bereikt, waardoor er een plotse afname van de afkoeling optreedt. In de loop van de nacht blijft de temperatuur nog licht dalen omdat de atmosfeer boven de duinpan ook verder afkoelt. Bij de KNMI-stations daalt de temperatuur minder snel en zorgt de dunne koude plaklaag voor een zwakere stabiliteit. De locatie in Egmond blijkt kouder te zijn dan Schoorl, en dat wordt veroorzaakt door een betere skyview factor en een groter volume.

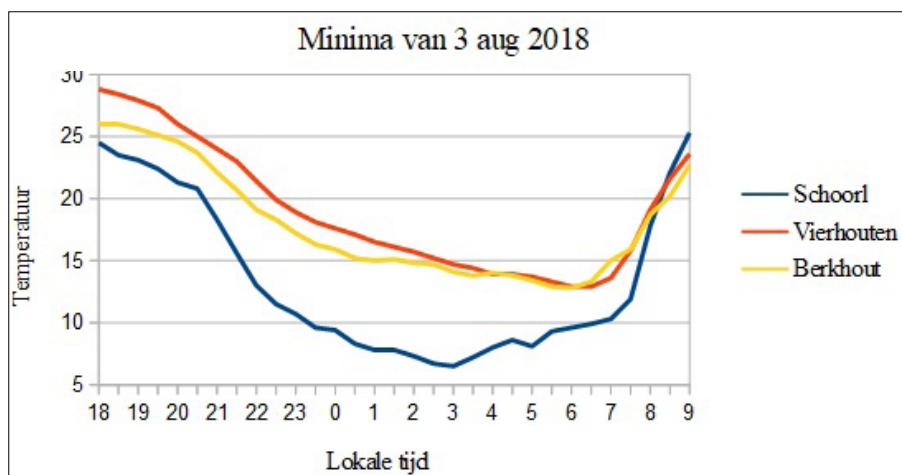
Uit Figuur 3 blijkt dat de forse afkoeling pas rond 4 uur in de ochtend tot stand kwam. Tot die tijd was er nog bewolking aanwezig. In Berkhout viel de wind niet geheel weg (1-2 m/s). Het station in Vierhouten was zo goed als windstil. Ook in Schoorl viel de wind weg en het is meteen duidelijk hoe goed die duinpan als koude-reservoir fungeert. Tussen 4:15 uur en 5:15 uur daalt de temperatuur met vijf graden. Figuur 3 toont niet de vochtigheid en het dauwpunt. Tijdens de korte periode tussen 4 uur en 7 uur stijgt de relatieve vochtigheid in Schoorl, Vierhouten en Berkhout met respectievelijk 3, 19 en 21 procent. Daarmee is een cruciale eigenschap van een 'doline' blootgelegd. Tijdens de sterke nachtelijke afkoeling wordt vocht onttrokken aan de atmosfeer en afgezet (dauw/rijp) waardoor de vochtigheid vrijwel niet meer stijgt. Het dauwpunt tijdens het minimum (-14.8 °C) om 7:26 uur was -16.7 °C.



Figuur 3. Halfuurlijkse temperaturen op de weerstations te Schoorl, Vierhouten en Berkhout.

Datum	Schoorl	Egmond	Wijk aan Zee	Berkhout	De Bilt	Vierhouten	Twente
Jul 9, 17	1.6		8.1	7.5	9.1	7.8	11.4
Feb 7, 18	-12.5		-9.0	-6.5	-6.8	-9.7	-7.8
Feb 27, 18	-14.8		-6.5	-7.6	-6.4	-9.8	-9.6
Mar 21, 18	-8.4	-10.2	-4.1	-3.7	-3.6	-2.9	-4.9
Apr 6, 18	-4.5	-7.3	2.7	1.5	0.0	-2.3	-2.9
May 4, 18	-3.7		0.0	1.7	2.3	-0.2	1.6
Jul 4, 18	1.3	1.0	10.4	8.6	13.2	9.0	9.8
Aug 1, 18	5.5	3.7	10.5	10.8	11.1	9.1	11.9
Aug 3, 18	6.5	4.8	11.9	12.8	14.3	12.9	14.5

Tabel 2. Waarnemingen (nachtelijke minimumtemperaturen in °C) geven een goede indicatie van de verschillen tussen de diverse stations en de metingen te Schoorl en Egmond. De minima werden bepaald tussen 18u en 09u van de daaropvolgende ochtend.



Figuur 4. Halfuurlijkse temperaturen van de weerstations in Schoorl, Vierhouten en Berkhout.

Figuur 4 toont een bijna ideale zomernacht. In Schoorl daalt het kwik al zodra de zon het laagste deel van de duinpan verlaten heeft. Bij het vallen van de duisternis zakt de temperatuur nog sterker en worden de verschillen met Vierhouten en Berkhout uiteindelijk het grootst rond 3 uur 's nachts. Daarna treedt er in Schoorl windmenging op en stijgt de temperatuur, terwijl de temperatuur op de andere stations ongestoord verder daalt tot rond 7 uur.

Conclusies

* Er mag aangenomen worden dat Nederlandse duinpannen eigenschappen vertonen van dolinen. Het koelt er na zonsondergang razend snel af en er bouwt zich een koude stabiele laag op. De duinpannen liggen blijkbaar net ver genoeg van de zee zodat de temperende invloed daarvan verwaarloosbaar klein is. In het algemeen geldt: hoe dieper en breder de duinpannen zijn, hoe lager de nachtelijke temperatuurminima zijn. De kleinere kuilen op de zandgronden in het binnenland zullen echter ook zeer koud kunnen worden. De duinpannen nabij Egmond zijn meestal kouder dan die bij Schoorl.

* De verschillen met de KNMI-weerstations tijdens 'ideale' nachten zijn groot, het hele jaar door. Soms zelfs 7 graden of meer! Schoorl kende tijdens de winter van 2017–18 vijf nachten met strenge vorst (07/02, 22/02, 23/02, 27/02, 28/02). Woensdrecht was in Nederland het enige reguliere station met één nacht strenge vorst (28/02).

* Er zijn nachten waarbij het kouder in het binnenland was en (veel) zachter aan zee, maar over het algemeen is de maandelijkse gemiddelde minimumtemperatuur te Schoorl toch lager dan de meeste KNMI-weerstations. De maanden dat dit niet het geval is kenmerken zich door wisselvallig weer en weinig kalme nachten.

* Een interessant punt zijn de temperatuurmaxima overdag in Schoorl. Op 26 en 27 juli was dat respectievelijk 35.1 en 36.2 en op 7 augustus 34.7 graden. Deze waarden komen overeen met die gemeten te Wijk-aan-Zee en zijn 1 á 2 graden hoger dan de omliggende KNMI-stations, aangevend dat de beschermde lokale situatie van duinpannen niet alleen voor extreme minima zorgt, maar ook voor hogere maximale temperaturen.

* Het kwam tijdens de zomers van 2017 en 2018 (tot 03/08/2018) telkens net niet tot vorst op waarnemingshoogte. Desalniettemin zal dit de komende jaren best wel eens gaan voorkomen. We mogen dan gerust spreken van zomerse vorstduinen!

Literatuur

Whiteman, C.D., T. Haiden, B. Pospichal, S. Eisenbach, and R. Steinacker, 2004: Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1224–1236.



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



Het belang van de minimumtemperatuur bij een hittegolf – kan ik mijn huis nog wel koelen?

ROBERT MUREAU, JOOST WESSELING, HARMEN ZIJP (“MEET JE STAD” PROJECT, AMERSFOORT)

Deze zomer werd een daghitterecord gebroken. Niet van de maximumtemperatuur, al werd er wel heel erg geflirt met de 40-graden grens. Nee, het ging om het record van de hoogste minimumtemperatuur (en mede daardoor ook om de daggemiddelde temperatuur). KNMI-record voor de minimumtemperatuur staat nu op 22.4 °C (Kew en van Oldenborgh, *Warme Nachten*, KNMI website, 2018). De aandacht voor dit minimumrecord was minder dan die voor het mogelijk overschrijden van de 40-graden grens. Dat is wel te begrijpen, maar niet geheel terecht. Hitte-ervaring wordt bepaald door meer dan temperatuur alleen. Straling, luchtvochtigheid, en wind spelen allemaal een rol. Vandaar dat er vele indices zijn afgeleid die deze effecten proberen mee te nemen (zie bijvoorbeeld Heusinkveld et al., 2017, en Haarsma, *Gevaar van hitte*, KNMI website, 2018). Meestal worden de indices toegepast op dagmaximumwaarden, zoals de maximumtemperatuur. Die spreken natuurlijk tot de verbeelding. In deze bijdrage willen we beargumenteren dat de minimumtemperatuur voor de hittebeleving minstens zo belangrijk is. Ook die kan namelijk gekoppeld worden aan een comfortwaarde. Voor de slaapkamer is een binnentemperatuur van boven de 24 graden oncomfortabel. Omdat in de stedelijke gebieden de temperatuur vanwege het hitte-eiland effect wel 2 tot soms 5 graden hoger kan zijn (vooral 's avonds en 's nachts) vergeleken met de temperatuur op een goed geventileerd meetveld, kunnen we verwachten dat de stad in de recordnacht nog warmer was dan in De Bilt. We zullen zulke hoge stadstemperaturen illustreren met metingen uit het Citizen Science Project “Meet je stad” in Amersfoort.

Record in De Bilt

Op de avond van 26 juli 2018 valt, na een zeer warme middag met een maximum temperatuur van 35.7 °C, de temperatuur in De Bilt terug tot 23.0 °C om vervolgens weer snel op te lopen naar waarden boven de 25 °C (zie Figuur 1, rode lijn). De laagste waarde gedurende die nacht was dus 23.0 °C! Dat is echter niet de waarde die de recordboeken in gaat. Het KNMI meet de minimumtemperatuur officieel over de periode 00-24 UTC (02-02 lokale tijd). Omdat de temperatuur de volgende avond iets lager was dan 23 °C (helemaal aan de rechterrand van de figuur) gaat de officiële minimumtemperatuur voor 27 juli 2018 de boeken in als “slechts” 22.4 °C. Zo'n hoge waarde is nog niet eerder voorgekomen in de meetreeks, die teruggaat tot 1901, vandaar het record. Wij zijn in dit artikel echter niet geïnteresseerd in meteorologische records, maar meer in de minimumtemperatuur tijdens de nacht van 26-27 juli: 23.0 °C. Die bepaalde namelijk hoe we die nacht ervoeren.

De minimumtemperatuur in Amersfoort

Bij alle aandacht voor de statistiek worden de gevolgen van zo'n warme nacht ten onrechte enigszins naar de achtergrond gedrukt. Zeker als we bedenken dat het in stedelijke gebieden zelfs nog iets warmer was dan op de KNMI-stations. In Amersfoort probeert het project “Meet je stad” (Kader 1) de klimaatverandering dichterbij de bevolking te brengen, door mensen zelf te laten meten. Deze zomer is meteen een heel mooi resultaat verkregen. Figuur 1 laat ook het verloop zien van de temperatuur zoals bepaald in het “Meet je stad” project in Amersfoort op circa 80 locaties in de stad (de blauwe stippellijnen). (De frequentie waarmee de temperaturen werden gerapporteerd varieerde enigszins. De meeste stations rapporteerden grofweg om de vijftien minuten een waarde, andere iets minder regelmatig. Zie voor de details van de instrumenten de instrumentenbeschrijving in de referentielijst).

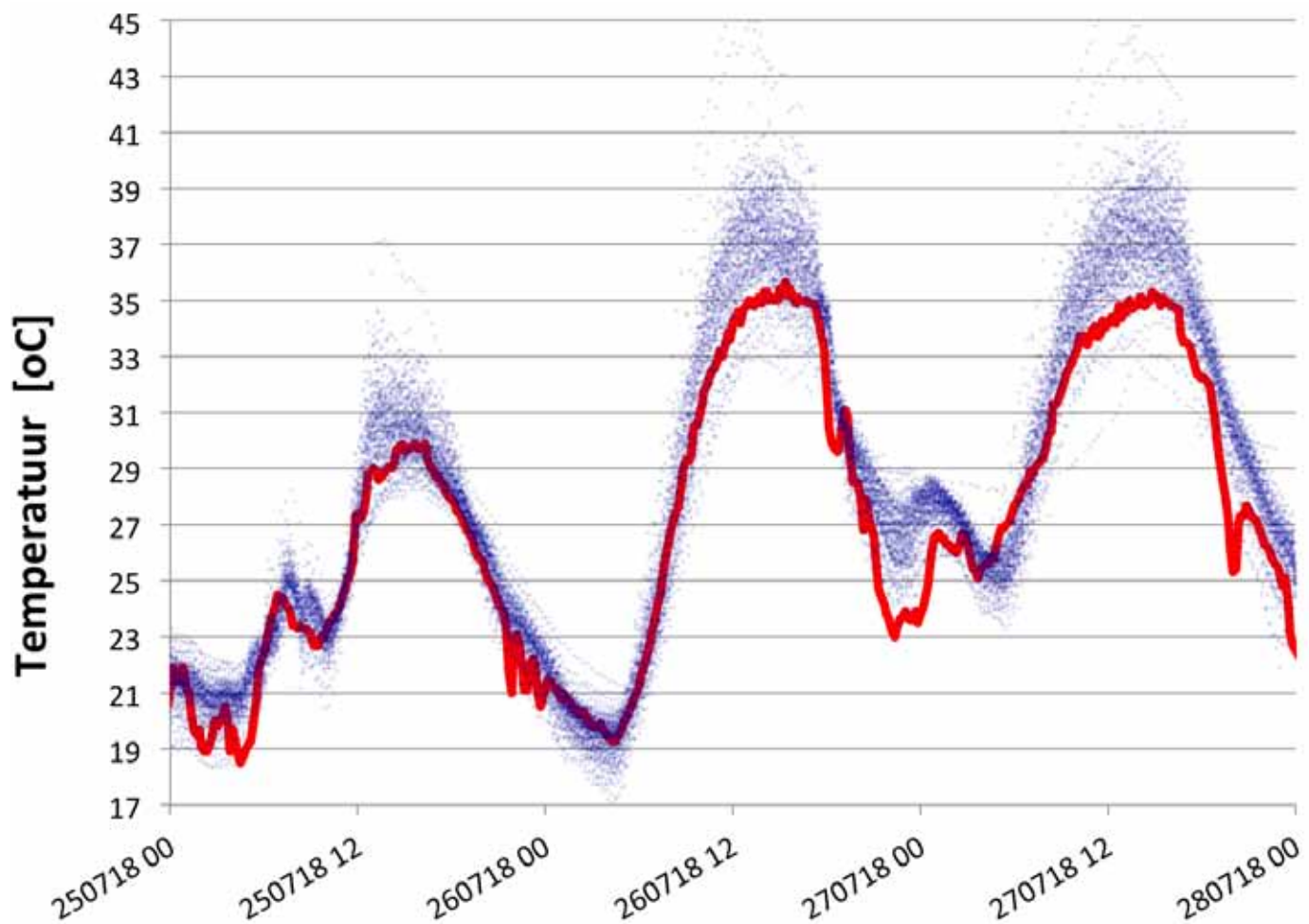
Omdat het om niet door het KNMI-geijkte, niet-officiële

waarnemingen gaat, moeten we een “door-de-oogharen” filter toepassen waarbij we “rare” waardes kunnen weglaten. Het verloop van de temperatuur door de nacht heen is ruwweg vergelijkbaar met de Bilt (in beide is een “double dip” in het verloop te zien), maar de eerste dip is, in Amersfoort, niet zo diep. De minimumwaarde wordt uiteindelijk niet in de avond (zoals in De Bilt) maar in de ochtend bereikt. Op het koelste moment, wanneer de verschillen tussen temperaturen in de stad het kleinst zijn, is de spreiding in de meetgegevens klein, in de orde van 1 °C. De grotere spreiding overdag wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat niet alle instrumenten goed in de schaduw staan opgesteld.

De ruimtelijke verdeling van de minimumtemperaturen in Amersfoort is weergegeven in Figuur 2. De meting in de achtertuin van de eerste auteur (in de binnenstad), met

Kader 1 – Meet je stad

“Meet je stad” is een burgerwetenschapproject (citizen science project) waarin inwoners samen de gevolgen van klimaatverandering op wijk- en straatniveau in kaart brengen. Er werd een open-source meetstation ontwikkeld dat elk kwartier temperatuur, luchtvochtigheid en zonne-instraling meet. Het station kan op één batterijlading een jaar lang autonoom functioneren. De meetgegevens zijn als open data te bekijken via de website van Meet je stad (www.meetje-stad.net). Meer dan 150 inwoners van Amersfoort en circa 30 in Bergen (Noorwegen) bouwden in een serie workshops zelf hun eigen meetstations en plaatsten deze verspreid in hun stad (zie voor de instrumenten de instrumenteninformatie in de referentielijst). Met de meetgegevens kunnen real-time hittekaarten worden gemaakt maar ook analyses over langere periodes. Om alle gegevens makkelijk te kunnen verzamelen is in het project een LoRa netwerk met dekking over bijna geheel Amersfoort uitgerold. “Meet je stad” is een project van de Coöperatieve Universiteit Amersfoort, in samenwerking met de gemeente Amersfoort en het Waterschap Vallei en Veluwe.



Figuur 1. Temperatuurverloop te De Bilt (rood) en Amersfoort (blauw) op 25, 26, 27 juli (tijd in UTC). In de ochtend van 26 juli zakte de temperatuur in De Bilt nog onder de 20 °C, bereikte in de avond van diezelfde dag (22:20 UTC) de laagste waarde van de nacht (23 °C) om daarna weer iets te stijgen. In Amersfoort was het nog warmer. Het gedrag in de nacht was ook anders. De “double dip” is minder sterk en bovendien omgekeerd (laagste temperatuur in het tweede gedeelte van de nacht, mogelijk doordat de zon later “opkomt” vanwege de bebouwing). De temperatuur lag in Amersfoort de gehele nacht grofweg tussen de 25 en 29 °C; het was er dus veel warmer dan de cijfers van De Bilt suggereren.

een onafhankelijk Netatmo instrument, kwam uit op 25.9 °C, waar op het kaartje een straat verder 25.8 °C gemeten werd. De temperatuur gedurende de gehele nacht varieerde dus tussen de 25 en 28 °C! Dit is zeer warm. In geheel Midden-Nederland was het overigens die nacht heel warm, zie daarvoor het eerder genoemde KNMI-overzicht (Kew en van Oldenborgh, 2018).

Wat is een acceptabele binnentemperatuur?

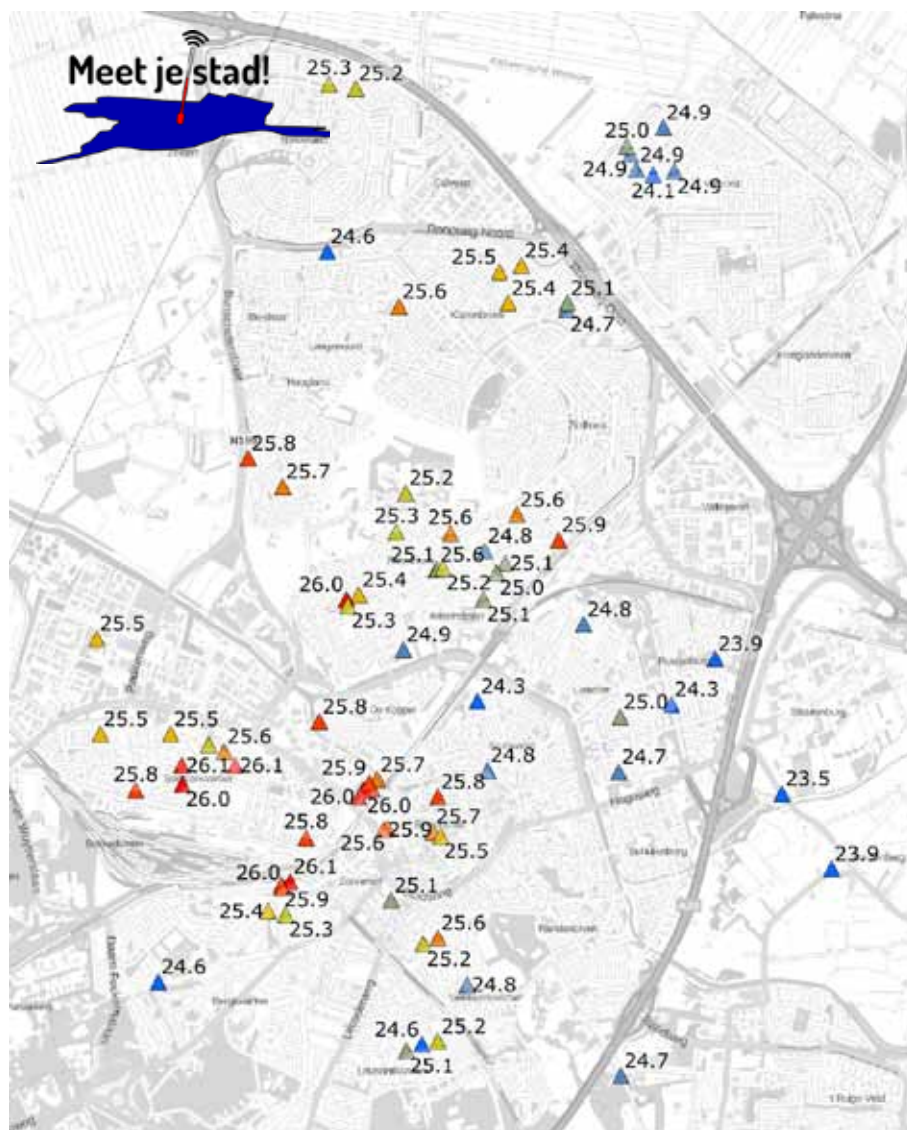
Voor de hitte-ervaring is de minimumtemperatuur mogelijk minstens zo belangrijk als de maximumtemperatuur, vanwege de beperkte afkoelmogelijkheden ‘s nachts. Een enkele dag van meer dan 30 °C kunnen we best verdragen, zolang we ‘s nachts de ramen open kunnen zetten, en het huis kunnen koelen. Maar als we de hitte die zich heeft opgebouwd en genesteld in onze tuinen en huizen niet meer kwijt kunnen raken krijgen we op een gegeven moment last. We moeten verder bedenken dat een maximumtemperatuur vaak maar een piekmoment is, terwijl de rest van de dag de temperatuur lager ligt. Bij de minimumtemperatuur is het omgekeerde het geval. De laagste waarde wordt doorgaans rond zonsopkomst bereikt, terwijl de rest van de nacht de temperatuur juist hoger is. Een minimumwaarde is dus sowieso een onderschatting van de hitte-ervaring tijdens de nacht. In de meeste landen, zoals in Nederland, wordt

enkel de maximumtemperatuur gebruikt om voor hitte te waarschuwen. Enkele landen, zoals Engeland, kijken ook naar de minimumtemperatuur: zowel de maximum- als de minimumtemperatuur moeten in Engeland een bepaalde grenswaarde overschrijden om tot een waarschuwing te komen (zie de Met Office Heat-Health warning definitie op hun website).

Er zijn wel officiële advieswaarden te vinden over wat een acceptabele binnentemperatuur is, maar spaarzaam.

	Winter	Zomer
Woonkamer	19-25 °C	22-27 °C
Studeerkamer/thuiskantoor	19-25 °C	22-27 °C
Slaapkamer	19-22 °C	< 24 °C
Keuken	19-22 °C	22-27 °C
Badkamer	19-26 °C	22-28 °C

Tabel 1. Operatieve temperatuureisen per ruimte weergegeven als minimum- en maximumwaarde, Klasse C (GGD richtlijn gezondheidsrisico's van zomerse omstandigheden, 2012).



Figuur 2. De minimumtemperaturen gemeten in Amersfoort in de gehele nacht van 26 op 27 juli 2018. Globaal gezien liggen de waarden tussen de 24.5 en 26 °C. De nieuwbouwwijk Vathorst in het noordoosten van de stad is iets koeler dan de rest van de stad. Ten oosten van Amersfoort, onder Stoutenburg richting Hoevelaken, is sprake van een opener terrein. Daar is de temperatuur dan ook iets lager dan in de stad.

Ook de interpretatie is lastig, vooral omdat hittestress erg persoonlijk is: de een kan nu eenmaal beter tegen warmte dan een ander. In het handboek binnenmilieu van het RIVM komen we enkele getallen tegen: voor de slaapkamer is de advieswaarde maximaal 24 °C. Voor de werkkamer wordt 27 °C genoemd, zie Tabel 1 (GGD, 2012). Binnentemperaturen boven de 25 °C zouden slaapstoornissen kunnen veroorzaken. Voor een onderzoek naar thermal comfort bij het slapen, zie Li Lan (2014). Een kantoor temperatuur boven de 27 °C wordt in het algemeen afgeraden, want dan is het niet plezierig om te werken en lijden we aan concentratieverlies. Uiteraard zal dit per persoon variëren.

Conclusie: de minimumtemperatuur is ook belangrijk bij een hittegolf

Zulke comfortadviezen geven de hierboven getoonde getallen iets meer context. In de nacht van 26-27 juli 2018 was het (zonder airconditioning) onmogelijk om het huis afdoende te koelen, in ieder geval niet in Amersfoort, en waarschijnlijk ook in groot aantal andere Nederlandse steden. Er stond weinig wind, waardoor natuurlijke ventilatie

nauwelijks mogelijk was. Ook al was men in staat om tot op dat moment het huis onder de 25 graden te houden, dan werd die waarde hoogst waarschijnlijk in de dagen daarna overschreden. Veel mensen zullen na die nacht wakker zijn geworden na een slechte nachtrust en waren zodoende ook niet echt goed gewapend tegen de hoge maximumtemperatuur die in een flink deel van de stad tussen de 35 en 39 °C uitkwam. De officiële maximumtemperatuur in De Bilt was overigens “slechts” 35.4 °C.

Toekomstplannen

Het project “Meet je stad” laat zien hoe een burgerinitiatief een gedetailleerd en ook nog eens verrassend nauwkeurig beeld van de temperatuurverdeling in een stad kan geven. Er wordt binnen het project echter niet alleen naar temperatuur gekeken, maar is er ook aandacht voor de menselijke kant van de klimaatverandering. Het nu reeds behaalde resultaat is voldoende veelbelovend om in de komende maanden de metingen nog meer uit te breiden en de resultaten verder uit te werken.

Dankwoord

Dank aan de vele enthousiaste vrijwilligers en projectleden die de metingen in Amersfoort mogelijk hebben gemaakt. Dit artikel bevat de eerste resultaten van het “Meet je stad” project (Amersfoort). De auteurs willen graag de volgende mensen bedanken voor het kritisch doorlezen van dit artikel: Wim van den Berg, Rob Sluiter, en Gert-Jan Steeneveld.

Referenties

- Sarah Kew en Geert Jan van Oldenborgh, 2018. Warme nachten, KNMI website: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/zeldzaam-warme-nachten>.
- Rein Haarsma, 2018, Gevaar van hitte, KNMI website: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/gevaar-van-hitte>.
- Heusinkveld, B.G., G.Sternborg and G.J. Steenveld, 2017, Smartphone App brings Human thermal comfort forecast in your hands. Bulletin of the American Meteorological Society, <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-16-0082.1>.
- Handboek binnenmilieu, 2017, RIVM website: <https://www.rivm.nl/dsresource?objectid=ca9ac71b-d8ef-4c8c-b3e1-bace9f1ea937&type=org&disposition=inline>.
- Li Lan, Li Pan, Zhiwei Lian, Hongyuan Huang, Yanbing Lin, 2014. Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures. Elsevier, Building and Environment, 73, pg 24-31.
- GGD richtlijn gezondheidsrisico's van zomerse omstandigheden, 2017, RIVM website: <https://www.rivm.nl/dsresource?objectid=3a1965f7-ddab-476e-bb30-01b1f4d70788&type=PDF>.
- The Metoffice website, heat-health watch: <https://www.metoffice.gov.uk/public/weather/heat-health/#?tab=heatHealth>.
- Instrumentenbeschrijving website Meet je Stad. De specs van de gebruikte sensoren zijn hier te vinden: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>. De ophanginstructie staat op de laatste pagina van de bouwhandleiding: <http://meetjestad.net/downloads/bouwhandleiding.pdf>.

VAN DE UITGEVER VAN METEOROLOGICAL TECHNOLOGY INTERNATIONAL

GRATIS
TOEGANG

DE GROOTSTE TENTOONSTELLING VAN METEOROLOGISCHE TECHNOLOGIE EN DIENSTEN TER WERELD

U kunt hier naar verwachting met
200 exposanten en meer gloednieuwe
technologieën dan ooit tevoren kennismaken

Meteorological TECHNOLOGY WORLD EXPO 2018

DE PAGINA'S
VAN DIT
TIJDSCHRIFT
KOMEN HIER
TOT LEVEN!



9-11 OKTOBER 2018

AMSTERDAM, NEDERLAND

► www.meteorologicaltechnologyworldexpo.com ◀

Registreer u online om uzelf te verzekeren van uw **GRATIS**
code voor versnelde toegang



Moedig voorwaarts, met/zonder verleden?

HUUG VAN DEN DOOL

Onlangs las ik in het tijdschrift EOS over het voorspellen van zonneactiviteit. De auteur gebruikte daarbij als titel het motto “To Understand Future Solar Activity, One Has to Know the Past.” Zo iets zet me aan het denken. Is dit een waarheid als een koe? Is het diepzinnig? Kan men Solar Activity in deze zin vervangen door iets anders dat het voorspellen waard is? Het weer, bijvoorbeeld. Moet men het verleden kennen om het weer te voorspellen? Pikant vraagje voor instellingen zoals het ECMWF. De auteur van het EOS artikel gaf wel toe dat zijn motto in deze of licht gewijzigde vorm al door allerlei anderen gebruikt was. Ik hoor historici regelmatig zo iets beweren. Bovendien ben ik meteoroloog, en vroeger dachten wij inderdaad dat je het verleden moest kennen om weersverwachtingen te kunnen maken. In de praktijk betekende dit eindeloos bladeren in dikke atlanten met oude weerkaarten om naar een analoge situatie te zoeken. Maar, dit motto is aanvechtbaar gebleken.

In de eerste helft van de jaren vijftig werden numerieke weersverwachtingen (NWP) aarzelend realiteit. NWP volgt uit het idee van Bjerknes (dd. 1904) dat men niet meer hoeft te weten dan a) de uitgangstoestand van de atmosfeer en b) de vergelijkingen die de atmosfeer van toestand A naar toestand B brengen. Ongelooflijk: het verleden speelt geen enkele rol in deze NWP-procedure. Van de ene op de andere dag was onze discipline op schokkende wijze veranderd. Dat wil zeggen, overtuigd waren alleen de visionairs die een gouden toekomst zagen voor modellen, want menigeen in het toenmalige establishment wilde het niet geloven. Dat een paar vergelijkingen die makkelijk op één pagina passen een substituuut zou zijn voor onze totale kennis van het al dan niet gemeten verleden wilde er niet direct bij iedereen in. Er ontstond ook meteen ongelof dat het met modellen ooit iets zou worden. En de modellen waren aanvankelijk zo slecht (tot zeg 1970) dat dit ongelof zich eenvoudig kon handhaven. De lange golven liepen met absurde snelheid naar het westen, en na enkele dagen integreren produceerden de modellen een zonale stroming, hoegenaamd zonder weersverschijnselen zoals depressies. Norbert Wiener (1894–1964), een eminent MIT-wiskundige was van mening dat modellen nooit beter konden worden dan wat men uit waarnemingen kon distilleren via lineaire regressie op alle lags met gegevens uit het verleden. Dit is weliswaar onjuist gebleken, maar Wiener zag wel de equivalentie tussen enerzijds een aantal differentiaalvergelijkingen plus begintoestand met anderzijds een data set die gebaseerd op dezelfde vergelijkingen het verleden beschrijft. (“Beschrijven”, dat wil zeggen, alleen in statistische termen, niet noodzakelijkerwijze de volgorde waarin een en ander zich in onze ene werkelijkheid heeft voltrokken.) Knappe koppen kunnen het bij het foute einde hebben en toch invloed uitoefenen. De mening van Wiener, juist omdat het Wiener was, inspireerde de jonge MIT-medewerker Ed Lorenz te bewijzen dat niet-lineaire dynamische modellen qua voorspelling meer konden dan alleen het skill-niveau van lineaire statistiek reproduceren. Dit verklaart deels de diepe belangstelling die Lorenz tussen 1950 en 1960 had voor niet alleen steeds simpelere dynamische modellen maar ook voor lineaire statistiek. Daarbij maakte hij het de dynamisch modellen niet te gemakkelijk door de statistische controlemethode te verwaarlozen. Al doende vond hij trouwens in 1956 EOFs uit.

De zekere equivalentie tussen een model en een loeigrote

dataset in gedachten houdend kan men ook enkele andere kanten min of meer een plaats geven. Je hoort wel eens: “een model kan dingen voorspellen die nog nooit zijn gebeurd”. Daarvan bestaan inderdaad voorbeelden. In 2002 kwam de eerste sudden stratospheric warming (SSW) in de korte geschiedenis van het zuidelijk halfrond voor. En deze was nog goed voorspeld ook, door de toenmalige weermodellen. Daar is te weinig voor geapplaudisseerd. Maar dit geldt lang niet voor alles. Rond 1990 was het bijvoorbeeld met de MJO (Madden-Julian Oscillation) in de modellen nog altijd zeer droevig gesteld. Alleen als we de vergelijkingen perfect kennen mogen we zonder verleden in onze rugzak verder. (We geven de loodzware rugzak af bij het bureau ‘big data’; daar schijnen ze met alles blij te zijn.) Het kostte generaties om de NWP modellen enigszins perfect te maken voor de korte termijn. Maar op de langere tijdschalen (seizoen, ENSO, klimaat) zijn we nog ver weg van perfectie en is de route naar betere modellen ook tamelijk duister. En men mag de zaak zeker niet omdraaien in het veelgehoorde ‘afzetten’ tegen de eeuwige concurrent: “statistische methoden werken niet voor situaties die nog nooit zijn gebeurd”. Onzin. Binnen de beperking van de lineaire aanname kunnen statische methoden nuttig zijn, zelfs als de predictor een waarde aanneemt die niet eerder is voorgekomen. Een rechte lijn is niet ingewikkeld. Als modellen (nog) niet goed genoeg zijn voor een bepaalde verwachting, dan is de statistiek plotseling competitief en doet het verleden er ineens wel toe.

Het ECMWF-model maakt vrij goede verwachtingen ook al kent dat model het verleden niet. Wat verklaart dan onze toenemende interesse in heranalyses? Willen we het verleden kennen zelfs als dit niet nodig is? Van mij mag het, nutteloos kan ook heel interessant zijn. Maar heranalyses hebben ook dit voordeel: dat we lange ‘hindcasts’ kunnen maken en verifiëren, om zo systematische fouten in modellen te kunnen identificeren en in post-processing te verwijderen. Vooral voor neerslag blijft dit verbazend hard nodig; hydrologen willen oneindig grote ensembles van alle uitgangstoestanden (elke 6 uur) in de laatste 50 jaar. We kennen de vergelijkingen ter zake blijkbaar niet precies. Interesse in heranalyses in het klimaatonderzoek suggereert dat we impliciet toegeven dat het modelleren van het klimaat voorlopig problematisch is.

Ook lopen we op iets op de zaken vooruit. De huidige NWP bestaat niet langer uit enkele simpele vergelijkingen voor vorticeitsadvectie, maar bevat talloze parameterisaties waarin slecht bekende coëfficiënten met behulp van verleden data zijn geschat. Oeps: het verleden speelt dus wel degelijk een rol. Grapjassen beweren wel eens dat een NWP-model meer statistiek bevat dan tien statistische methoden tezamen. Zwak punt. Misschien als de resolutie 1 meter wordt kunnen we de meeste parameterisaties (van de onopgeloste schalen) weglaten en komt het oorspronkelijke idee van Bjerknes weer naar voren.

Wat waar is op aarde moet ook gelden op de zon. Alleen verkeert men voor de zon nog in de fase dat fysisch modelleren toekomstmuziek is. Dan blijft alleen waarnemen over, bijvoorbeeld met de Palmer-sonde van 1.5 miljard dollar, overigens geen simpele exercitie als je de vleugels niet wil verbranden, en het zorgvuldig bewaren, beheren en analyseren van verleden waarnemingen (gemaakt op veilige afstand). Als de geldschieters dit ook maar zo zien, daar ging het EOS artikel ook over.

Weer en Water in de Stad

9.30: Binnenkomst met koffie & thee

10.00: Daniel Goedbloed (Amsterdam Rainproof)
Amsterdam Rainproof - Omgaan met extremen en onzekerheden

10.30: Gert-Jan Steeneveld (Wageningen University)
De meteorologie van de stad begrijpen, meten, en modelleren

11.00: Didrik Meijer (Deltares)
Stedelijke waterbeheer: Modellen in de praktijk

11.30: Lisette Klok (Hogeschool van Amsterdam)
De Hittebestendige stad

12.00: Lunch

13.30: Patrick Willems (KU Leuven)
Impact van de klimaatverandering & duurzame adaptatiestrategieën - case Stad Antwerpen

14.00: Arjan Droste (Wageningen Univ.) & Lotte de Vos (KNMI, Wageningen Univ.)
Het weer in je achtertuin - crowdsourcen in de stad

14.30: Piet Dircke (Arcadis)
Enkele wereldwijde praktijkvoorbeelden van geslaagde klimaatadaptatie en hoogwaterbestendigheid in stedelijke gebieden

15.00: Hisso Homan (KNMI)
Hitte en droogte vanuit operationeel meteorologisch perspectief

15.30: Borrel

Locatie: Wageningen Univ., Droevendaalsesteeg 3, GAIA 1+2

Datum en tijd: 23 november 2018, 9:30.

Aanmelden voor 16 november via www.nvbm.nl of bestuur@nvbm.nl

Gratis voor NVBM & NHV leden en studenten. Niet-leden 50 euro.



Waarom droogte lastig te voorspellen is

FRANK SELTEN, EVELINE VAN DER LINDEN (KNMI)

Ons klimaat is aan het veranderen. Het wordt warmer, natter in de winter en extreme buien worden heviger. Maar of het in de zomer droger gaat worden, of juist niet, is lastiger te bepalen, en dat is jammer, want dit heeft een groot effect op bijvoorbeeld gewassen en planten (Figuur 1). Droogte ontstaat doordat er vanaf het begin van de lente tot het eind van de zomer meer water uit de bodem verdampt dan dat er neerslag valt. Voor die verdamping is energie nodig, en die komt van de zon. Hoeveel water verdampt hangt van vele processen af, zoals hoeveel zonlicht door wolken wordt tegengehouden, hoe vochtig de bodem is, de hoeveelheid bladeren die planten en bomen hebben (want veel water verdampt via bladeren), en hoe diep de wortels zich bevinden. Bovendien gaat verdamping efficiënter als de lucht droger is en het harder waait.

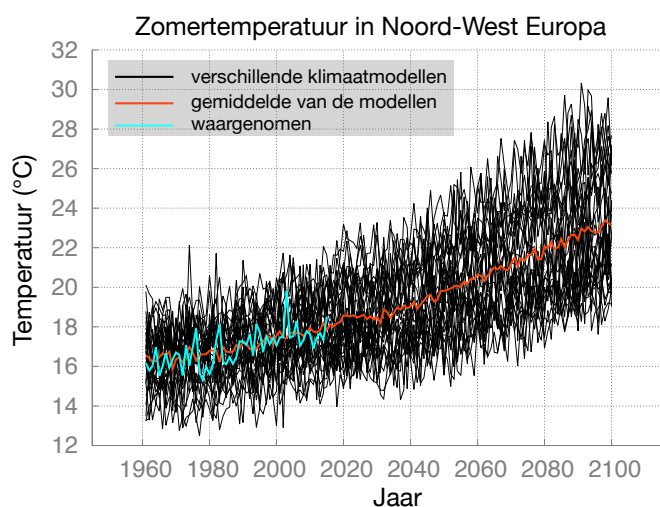
De neerslag hangt gedeeltelijk af van deze verdamping. Eenmaal droge bodems verdampen weinig, waardoor er minder vocht in de lucht komt, minder wolken ontstaan, minder regen valt en meer zonlicht beschikbaar is voor verdamping. Dit versterkt de droogte. Andersom, wanneer de bodem vochtig is, kan er meer verdampen. Wolken waaruit neerslag kan vallen ontstaan dan makkelijker en remmen de instraling van de zon. Dit gaat droogte tegen.

Voor klimaatmodellen is het lastig om deze wirwar van processen die elkaar ook nog eens beïnvloeden en versterken goed door te rekenen. Dat komt doordat de relevante processen afhangen van kleinschalige details, zoals luchtstromen (atmosferische turbulentie), wolken, rivierstromen en bodem- en plantensoorten. Een kleine afwijking in deze details kan grote verschillen opleveren in de hoeveelheid bodemwater in de loop van de lente en zomer en daarmee in de hoeveelheid neerslag en verdamping. Klimaatmodellen verschillen in deze details. In tegenstelling tot de unanieme verwachte opwarming in modellen (Figuur 2), lopen de toekomstverwachtingen voor droogte in Noordwest-Europa uiteen van weinig verandering tot sterke uitdroging (Figuur 3). Het KNMI neemt deel aan een internationaal onderzoeksproject (EUCP: <https://www.eucp-project.eu/>), gefin-

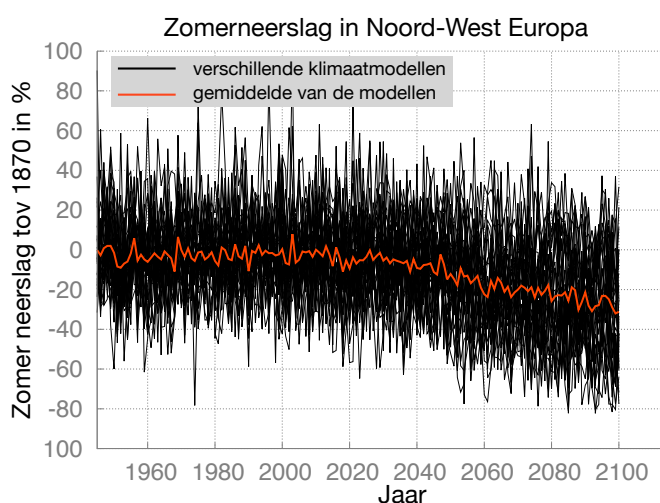
ancierd door de Europese Unie. Het doel is om klimaatmodellen met waarnemingen te combineren om beter in kaart te brengen hoe toekomstige droogtes in Europa zich zullen ontwikkelen.



Figuur 1. De zomerdroogte heeft de rhododendron van het KNMI aangetast (foto: R. Sluiter).



Figuur 2. Gesimuleerde zomertemperaturen in Noord-West Europa door 32 verschillende klimaatmodellen (zwart); het gemiddelde (oranje) en waarnemingen (blauw). Voor de toekomst is uitgegaan van het meest pessimistische scenario voor CO₂-uitstoot (RCP8.5).



Figuur 3. Gesimuleerde neerslagverandering in Noord-West Europa door 32 verschillende klimaatmodellen (zwart) en het gemiddelde (oranje). Voor de toekomst is uitgegaan van het meest pessimistische scenario voor CO₂-uitstoot (RCP8.5).

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

De herfst

HARRY GEURTS (KNMI, OUD PERSVOORLICHTER)

Een tijdje terug zat ik in het Concertgebouw in afwachting van een uitvoering van het Requiem van Dvorák. Juist op dat moment barst er boven Amsterdam een stevig onweer los. Het orkest zet in en tijdens de zachte inleiding klinkt dondergeroffel, prachtig getimed, alsof de componist het precies zo bedoeld heeft. Dit maakte diepe indruk en inspireerde mij om me te verdiepen in de relatie tussen weer en muziek. Twee liefhebberijen die me van kindsbeen af mateloos interesseerden. Eigenlijk zijn het er zelfs drie, want bij de klassieke werken komt ook een flinke dosis geschiedenis om de hoek kijken. En ook dat heeft mijn grote aandacht, zeker sinds ik me heb verdiept in de geschiedenis van de meteorologie. Weerkunde is uiteindelijk mijn beroep geworden, maar mijn interesse in muziek is niet vervaagd, integendeel. Musicoloog ben ik zeker niet, maar gewoon een liefhebber die geniet van alle soorten muziek, van klassiek tot techno. In een serie columns ga ik nader in op hoe weerkundige fenomenen in de klassieke muziek worden vormgegeven. Er zit heel veel muziek in het weer, zoveel zelfs dat ik het thema per seizoen zal behandelen.

Windmachine en andere “weer” instrumenten

Als eerste komt de herfst aan bod, het seizoen met misschien wel het meeste geluid. De striemende regen, rollende donder, bulderende golven en wind die langs huizen giert. Natuurkundige Petrus van Musschenbroek (1692-1761) kon met behulp van het geluid van de wind een schatting maken van de windkracht, ruim voordat de schaal van Beaufort begin 19e eeuw gangbaar werd. In de tijd van Van Musschenbroek gebruikte Rameau een windmachine voor zijn opera “Les Boreades” (Figuur 1). Windmachines bestaan meestal uit een grote trommel die met de hand aangeslingerd kan worden om het geluid van de wind na te bootsen. Hoe harder je draait hoe meer lawaai. De windmachine is onder meer te horen in de “Sinfonia Antarctica” van Vaughan Williams, der “Fliegende Holländer” van Wagner, “Daphnis et Chloé” van Ravel en de “Alpensymfonie” van Richard Strauss.

Voor zijn muzikale wandeling door de bergen bedacht Strauss een dondermachine als slagwerk. Bekend zijn ook de windharpen waarvan de snaren door de wind worden bespeeld. Ze waren indertijd razend populair, en vooral te vinden in theehuisjes, voor de sfeer. Langs de Vecht bij Breukelen kom je er nog een aantal tegen. En dan is er het orkaanfluitje, oftewel de hurricane whistle, die Edgard Varèse in zijn composities verwerkte. Mogelijk doelde de in de Amerika wonende Fransman op het geluid dat een tropische orkaan veroorzaakt, maar het kan ook zijn dat hij dacht aan de sirenes die waarschuwen voor de storm. Het is duidelijk dat er sinds de oudheid een enorme variëteit aan instrumenten bestaat (Figuur 2) om allerlei fenomenen (zoals het weer) in geluidsvorm uit te beelden.

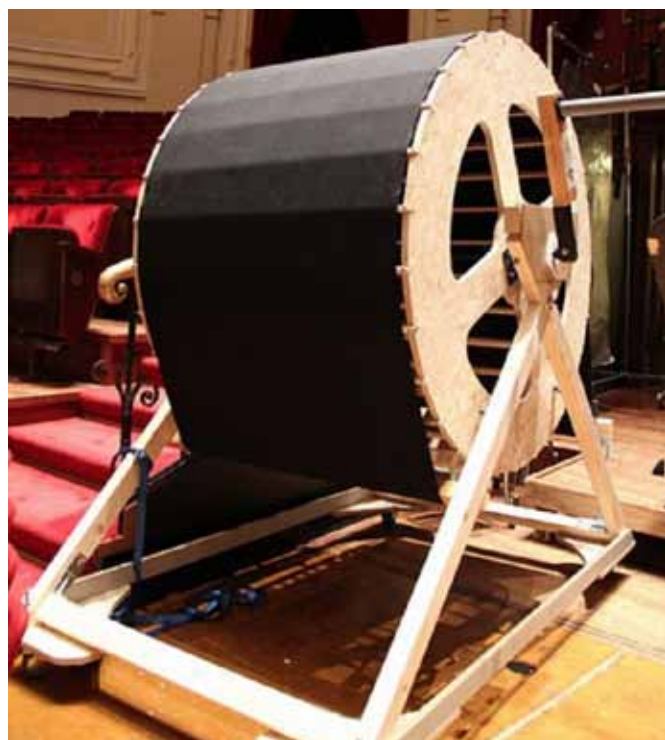
Pastorale

Het geluid van wind en onweer kan natuurlijk ook met gewone instrumenten worden weergegeven. Pauken zijn bij uitstek geschikt om een donderbui na te bootsen. Prachtig is de “Pastorale”, de zesde symfonie van Ludwig van Beethoven (1770-1827). Het derde deel gaat over een boerenfeest op een warme dag. De pastorale klank van de hobo wordt afgewisseld met het vrolijke antwoord van de fagot. Tijdens het feest hoor je de dreigende toon van het naderende onweer door een plotselinge onderbreking van het scherzo. In het volgende deel barst de bui los en dient de paukenist zich in het zweet te werken. Het is

opmerkelijk hoe scherp het waarnemingsvermogen van Beethoven moet zijn geweest. De componist wandelde graag en deed inspiratie op in de bossen met kabbelende beekjes rondom het toenmalige Wenen. Hij noemde zijn zesde symfonie een sfeerbeschrijving. Wat dat betreft zou Beethovens “Pastorale” perfect hebben gepast in het sfeerbericht, een muzikaal weerbericht waarmee Radio 4 de afgelopen zomer opluisterde.

Beethoven als meteoroloog

Niet alleen wat betreft muziek was Beethoven een genie, maar ook van het weer moet hij veel verstand hebben gehad. Hij had oog voor meteorologische details zoals de stilte voor de storm, en het geluid van windstoten tijdens een onweersbui. Voor dat laatste gebruikte hij een piccolofluit. Al deze elementen wist hij perfect te timen zoals het er in werkelijkheid vaak



Figuur 1. Windmachine van het VU-orkest in het Concertgebouw, Amsterdam (bron: Olfert Cleveringa Creative Commons).



Figuur 2. Etruskische schildering met allerlei muziekinstrumenten (bron: Le Musée absolu, Phaidron).

tijdens onweer aan toe gaat. Ook de opklaringen en de daarbij horende opluchting als het onweer eindelijk voorbij is horen we terug in het laatste deel tijdens het vrolijke gezang van de herders: een finale vol variaties met klarinet en hoorn. Natuurlijk Beethoven schreef naast zijn “Pastorale” symfonie ook een pastorale sonate, en zelfs nog een stormsonate met een zeer onstuimig laatste deel.

Vervloekte storm

Symfonische muziek, waarin horen en zien je vergaat, leent zich het best voor onweer en storm. Veel componisten hebben hiervan gebruik gemaakt. Berlioz (1803-1869) suggereert in zijn “Symphonie Fantastique” onweer op afstand. In november 1830 schreef hij een dramatische fantasie met koren waarvoor hij inspiratie opdeed uit “The Tempest” van Shakespeare. Iedereen keek uit naar de première maar een uur voor de Opéra in Parijs zijn deuren opende barstte een noodweer los zoals ze daar niet vaak meemaken. Berlioz zag met eigen ogen de straten rond het concertgebouw in bergstromen veranderen: “Elk verkeer, te voet zowel als per rijtuig, werd vrijwel onmogelijk, de zaal blijft half leeg tijdens de eerste helft van de avond, precies het tijdstip waarop mijn fantasie op de Storm (vervloekte storm) werd uitgevoerd.” De première die slechts door een paar honderd man werd bijgewoond, de uitvoerenden inbegrepen, viel letterlijk in het water. Het weer kan musici ook in de wielen rijden.

Lokale winden als inspiratie

Een componist die hier zeker niet mag ontbreken is Vivaldi. Deze rossige Italiaan is vooral bekend vanwege zijn vioolconcerten “De vier jaargetijden,” maar daarnaast heeft hij nog tal van andere werken geschreven waarin het weer een rol speelt. In het fluitconcert “La Tempesta di Mare” laat hij de wind flink aanwakkeren, als tijdens een aanzwellende storm op zee. In zijn woonplaats Venetië kon het flink tekeer gaan, vooral als de bora, een koude noordooster, opstak. Stormen waarin vloten met man en muis vergingen maakten op Vivaldi en zijn tijdgenoten diepe indruk. De vier jaargetijden van Vivaldi vormen vier vioolconcerten uit een cyclus van twaalf, gewijd aan de seizoenen. In de herfst wordt de oogst gevierd met zang en dans (vierkwartsmaat) en veel wijn. Daarna vallen de dorpelingen “beneveld” in slaap: het tempo van de muziek wordt plotseling langzamer. Het herfstseizoen wordt afgesloten met de jacht en het daarbij onlosmakelijke dreigende gegrom van de jachthonden. In zijn opera “Griselda” zingt een sopraan de aria “Agitata da due venti”, twee winden die vaak voor opwindend zorgen. Misschien doelde Vivaldi hier naast de bora op de levanter, een hardnekkige oostenwind op de Adriatische Zee.

Blowin’ in The Wind

Ten slotte zijn er nog tal van werken met herfst als thema. Vooral de wind komt vaak aan bod; wie kent niet “Blowin’ in The Wind” van Bob Dylan, een meer recente klassieker. Stormen doet het onder meer in “De nacht op de kale berg” van Moessorgski, en in menig opera zoals “Cosi fan Tutte” van Mozart (Figuur 3) en “Rigoletto” van Verdi. Verder zijn er tal van andere werken met wind als thema, onder meer van Rossini, Mendelssohn, Grieg en Brahms. Dit lijstje zou moeiteloos veel langer gemaakt kunnen worden.

Met name Claude Debussy (1862-1918) schreef veel muziekstukken over wind en zee: een onderwerp dat hem als natuurmens zijn hele leven boeide. Het derde deel van het orkestwerk “La Mer” is getiteld “Dialogue du vent et la Mer”. We horen het onophoudelijke geluid van zeegolven, aangewakkerd door de wind. “Muziek onweerstaanbaar als de Zee” is de toepasselijke titel van een recent verschenen biografie van Debussy (auteur: Emanuel Overbeeke). In één van de préludes voor piano “Le vent dans la plaine” (de wind in de vlakte) doelt Debussy op het zachte, bijna fluisterende geluid van wind over gras en door de struiken. Overtuigend klinkt ook het bravourestuk “Ce qu’a vu le vent d’Ouest” waarin krachtige akkoorden en snelle passages aangeven wat de westenwind op haar weg allemaal heeft meegemaakt. Maar ook de rustige periodes, karakteristiek voor de herfst, ontbreken niet. Voor piano solo schreef Debussy “Brouillards”. Mogelijk had hij voor deze prelude een beeld voor ogen van een rivier in de mist, zoals dat vaak op schilderijen wordt uitgebeeld. Of een kind dat uit het raam staart, bijvoorbeeld naar een in nevel gehulde rivier, als jeugdherinnering. Hoe dan ook, heerlijke muziek om bij weg te dromen en in alle rust de winter in te glijden.

Contactgegevens: harry.geurts@xs4all.nl



Figuur 3. Standbeeld van Mozart in Salzburg (foto: Harry Geurts).

Trends in de hoogste daggemiddelde temperatuur

GEERT JAN VAN OLDENBORGH (KNMI)

In dit artikel doe ik een poging tot een korte analyse van het meest extreme record van de zomer: de daggemiddelde temperatuur op 27 juli 2018 van 29.7 °C. Daarmee werd het vorige record, 27.1 °C in 2010, heel ruim overtroffen. Ik onderzoek hoe zeldzaam zo'n hoge temperatuur tegenwoordig is, hoe die kans veranderd is in de waarnemingen en onze modellen, en wat we voor de toekomst kunnen verwachten.

Gegevens

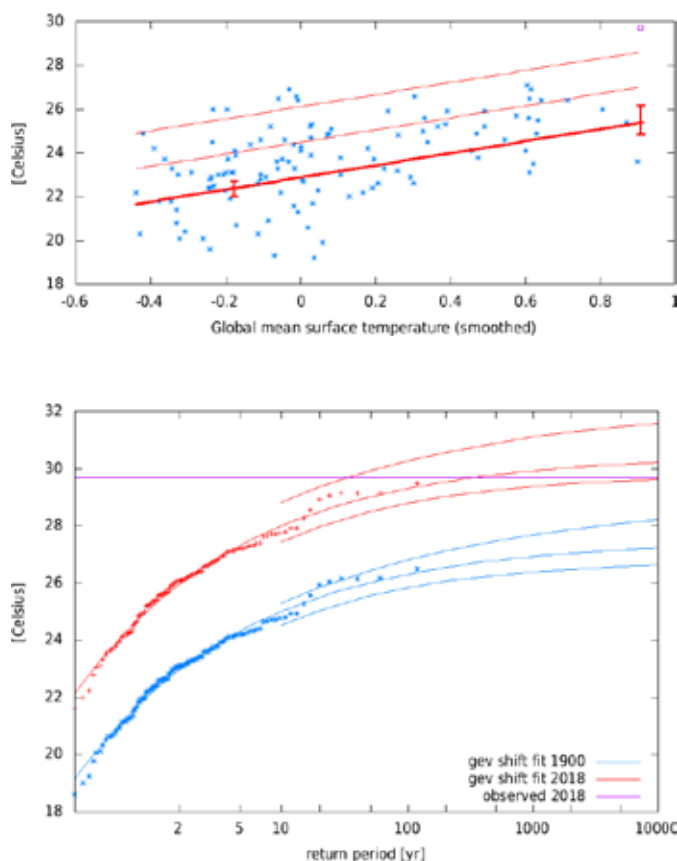
De analyse is gebaseerd op de gehomogeniseerde reeks van De Bilt, waarbij aan de hand van parallelmetingen de metingen vóór 1951 gecorrigeerd zijn. Hierbij neem ik aan dat de correctie van de warmste 10% ook geldig is voor de warmste dag van het jaar. Als ik de analyse vanaf 1951 doe krijg ik vrijwel hetzelfde antwoord, maar uiteraard met grotere onzekerheidsmarges, dus het ziet er naar uit dat de gecorrigeerde metingen inderdaad goed aansluiten op de recentere metingen. Ik gebruik in de analyse ook klimaatmodellen; daarbij neem ik het roosterpunt dat het dichtst bij 52 °N, 5 °O ligt.

Trend in de waarnemingen, herhalingstijd

Figuur 1 laat zien hoe snel de hoogste daggemiddelde temperatuur van het jaar de afgelopen eeuw is gestegen: momenteel gemiddeld zo'n 3 graden hoger dan rond 1900 met een 95% onzekerheidsmarge van 2 tot 4 graden. Dat is ongeveer drie keer sneller dan de wereldgemiddelde temperatuurstijging. Ik fit aan een GEV verdeling, omdat die deze maxima het best zou moeten beschrijven. Figuur 1b laat zien dat een GEV verdeling een goede fit geeft. De waarde van 2018 ligt even hoog boven de trendlijn als die van het jaar 1947 en heeft een herhalingstijd van rond de 300 jaar. De fit heeft een negatieve vorm-parameter: de cumulatieve distributiefunctie in Figuur 1b buigt naar een horizontale lijn en heeft dus een bovengrens: volgens deze fit kan het in Nederland niet warmer worden dan zo'n 30-32 °C in het huidige klimaat en 27-28 °C in het klimaat van 1900. De kans op zo'n warme dag in het klimaat van 1900 is vrijwel gelijk aan nul: met andere woorden, het is extreem onwaarschijnlijk dat zo'n warme dag zonder versterkt broeikas effect kan voorkomen.

Klimaatmodellen

Formeel hebben we klimaatmodellen nodig om dit toe te schrijven aan menselijk handelen: uitstoot van broeikasgassen en aerosolen. Dat verband ligt uiteraard heel erg voor de hand: als de wereld opwarmt, warmt Nederland ook op, evenals de extremen. Het klimaatmodel EC-Earth is voor de KNMI'14 scenario's 16 keer gedraaid van 1861 tot 2100 met een resolutie van T159 (~130 km), tot 2005 geforceerd met waargenomen concentraties broeikasgassen en aerosolen, daarna met het hoge emissiescenario (RCP8.5). De EC-Earth output is met RACMO gedownscaled naar 12 km. De eigenschappen van de hoogste daggemiddelde temperatuur in De Bilt in dat model zien er goed uit: de afwijking is dezelfde twee graden als in de gemiddelde temperatuur, dus de temperatuurverdeling kan met een simpele bias-correctie gecorrigeerd worden. De variabiliteit van de maxima is bovendien vrijwel gelijk aan de waarnemingen, en ook de vorm is binnen de onzekerheids-



Figuur 1. Stijging van de hoogste daggemiddelde temperatuur, a) als functie van de (gladgestreken) wereldgemiddelde temperatuur; de getrokken lijnen geven de positieparameter μ en de breedte van de verdeling $\mu+\alpha$, $\mu+2\alpha$ van de GEV fit aan, b) de GEV verdeling in 2018 (rood) en 1900 (blauw), met de waarnemingen langs de trendlijn omhoog en omlaag geschoven.

marges gelijk. De trend is echter te klein, 1.2 (0.9 tot 1.7) keer de wereldgemiddelde temperatuur. Dit blijkt voor vrijwel alle modellen te gelden; we zijn van plan te onderzoeken waardoor dit veroorzaakt wordt.

KNMI'14 scenario's

De uitvoer van RACMO vormt de basis voor de KNMI'14 scenario's, met een reeks nabewerkingen. In deze scenario's geldt voor de opwarming van 1981-2010 tot 2050 een bandbreedte van 1.4-3.3 °C. De waarde van 27 juli 2018, 29.7 °C, ligt zo'n vijf graden boven het gemiddelde over de periode 1981-2010. In de KNMI'14 scenario's komen we dit soort waarden in het hoogste scenario pas tegen aan het eind van de eeuw. Het was dus een zeer uitzonderlijke gebeurtenis.

WEERBEELDEN



Jan Hemink: "Op 27 juli 2018 kon niet iedereen de kleurverandering van de maan volgen omdat het niet overal helder en onbewolkt was. Zelf overviel mij op Gard du Nord (Parijs) een forse onweersbui met hagelstenen als kleine pingpongballen. Coen Wouters had meer geluk en maakte in Apeldoorn deze prachtige serie opnamen. Een geluk bij een ongeluk." Redactie Rob Sluijter. Foto's voor deze rubriek kunt u sturen naar weerhaan@gmail.com.



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

Hoge resolutie

LEO KROON



column

“Kijk, dat valkje daar, zij varen scherp aan de wind, maar wij komen nauwelijks vooruit!” Met Aad zeilend op het Hegermeer word ik regelmatig, net als hij, geconfronteerd met het feit dat wind een zeer lokaal verschijnsel is, dat daarbij ook nog eens bijzonder variabel in de tijd kan zijn. Na twee minuten met een snelheid van ruim zeven knopen varen met onze *Etape*, kunnen we zomaar weer afzakken naar een sullige twee à drie knopen. Aad foetert regelmatig op “het KNMI”, dat er weer eens naast zat met hun verwachtingen, hoewel hij als zeiler best weet dat het windveld door lokale omstandigheden zoals eilanden, bosranden, huizen en niet te vergeten andere zeilschepen danig verstoord kan worden. Maar zelfs midden op het meer, ver van deze obstakels, is het gedrag van de wind grillig. Het helpt dan weinig dat ik uitleg dat we in de grenslaag leven en dat de grootschalige turbulentie in deze laag voor de variatie in ruimte en tijd van de wind zorgt. Het zet me echter wel aan het denken, bijvoorbeeld over de kleinschaligheid van dit soort verschijnselen en de alsmaar toenemende resolutie van de weermodellen. En dan vooral het probleem om die steeds kleinschaliger informatie over te brengen aan gebruikers.

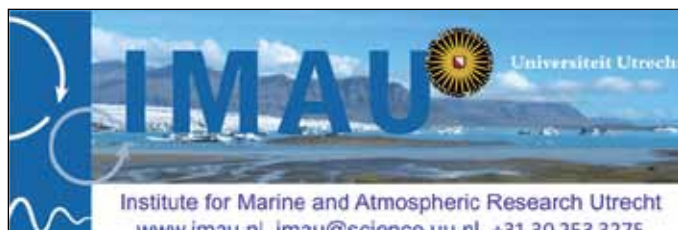
Het “grote publiek” zit waarschijnlijk helemaal niet op hoge-resolutie data te wachten. Voor velen is een zonnetje/wolkje en een (max/min)temperatuur vaak wel genoeg. Het was echter al een grote stap voorwaarts van de nietszeggende kreet in het weerbericht “verspreid kunnen er enkele buien voorkomen, vooral in de kuststreken” naar een grafisch overzicht zoals Buienradar en vele anderen dat geven. Zulke grafische informatie geeft actuele (radar)waarnemingen op een voor het grote publiek bruikbare lengte- en tijdschaal. Maar je kunt daarin ook doorschieten. De BBC dacht, wat de wind betreft, het ei van Columbus gevonden te hebben in hun weerpresentatie voor de televisie. Zij laten een kaart van de Britse eilanden en de Noordzee zien met daarop in de tijd verschuivende en in grootte en richting variërende windvectoren. In een tijdsbestek van enkele seconden wordt zoveel informatie verschaft dat het voor vrijwel alle kijkers bijna niet meer te volgen is.

Hoge-resolutie gegevens zijn eigenlijk vooral nuttig voor zeer specifieke groepen gebruikers, niet alleen zeilers maar ook allerlei commerciële gebruikers. Het probleem is

vooral hoe deze informatie bij die specifieke gebruikers te krijgen (zie ook Hov et al., 2017). De informatie die de moderne hoge-resolutie modellen produceren, zie bijvoorbeeld het artikel van Ronda et al. in het laatste juni-nummer van dit tijdschrift, is zo uitgebreid, volatiel en complex dat een vertaalslag naar een voor gebruikers begrijpelijke weergave niet eenvoudig is. Zeker niet als naast een deterministische verwachting ook nog een probabilistische verwachting wordt gepresenteerd. Hoewel de gebruiker tegenwoordig met smartphones best behoefte kan hebben aan lokale weerinformatie (en omdat dit technisch mogelijk is), zal hij/zij al snel verdrinken in de hoeveelheid informatie, grafisch of niet, als niet ernstig rekening wordt gehouden met de specifieke wensen van de gemiddelde gebruiker. Het simpele voorbeeld van Buienradar geeft al aanknopingspunten waar mogelijke valkuilen liggen voor de presentatie van weergegevens. Wat weet de gebruiker van neerslag die de grond nooit bereikt maar wel op de radar zichtbaar is? En het tegenovergestelde: motregen waarvan je wel nat wordt maar die op de buienradar (en op de motregenradar) niet te zien is? En wat te denken van de extrapolatie van radarwaarnemingen naar de komende uren die nogal eens de mist in gaat vanwege de onbetrouwbare “kijk-schuif methode” zoals Kees Floor dat noemt? Er is, kortom, een grens aan de bruikbare resolutie van weermodellen, en die grens wordt niet zozeer bepaald door de techniek en de fysica, maar vooral door de toepasbaarheid en bruikbaarheid van de uitvoer. Hov et al. (2017) pleiten daarom voor een nauwere samenwerking tussen private, publieke en academische instellingen om een strategie af te spreken voor het vertalen en doorgeven van meteorologische informatie. Het toont maar weer aan dat het overbrengen van bruikbare weerinformatie verre van eenvoudig is, en een kwestie is van een goede afstemming tussen de producent en de consument. En Aad, tja, die zal genoeg moeten nemen met het grillige gedrag van de wind. Maar dat maakt zeilen juist zo leuk.

I. Hov et al. Five priorities for weather and climate research, Nature, December 2017.

Sponsors van de Nederlandse Vereniging ter Bevordering van de Meteorologie



Colofon

Redactie

Hoofdredacteur: Richard Bintanja (e-mail: bintanja@gmail.com, 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@gmail.com, 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 waarnemingsstelsel 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.

