

JAARGANG 31 - NR. 2 - JUNI 2022

METEOROLOGICA

WEERBERICHT VOOR DE RUIMTE



UITGAVE VAN DE NEDERLANDSE VERENIGING TER BEVORDERING VAN DE METEOROLOGIE



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

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

Het weer is grillig, de bodem beweegt en het klimaat verandert. Voor onze veiligheid en welvaart moeten we weten welke risico's en kansen dit oplevert. En: hoe we ons het beste kunnen voorbereiden. Die kennis heeft het **Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)** in huis als het nationale kennis- en datacentrum voor weer, klimaat, oceanografie en seismologie. Betrouwbaar, onafhankelijk en gericht op wat Nederland nodig heeft. Voor een veilig Nederland dat voorbereid is op de invloed van weer, klimaat en aardbevingen.

Voorbereiden, waarschuwen en adviseren

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

Evalueren, onderzoek en wetenschap

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

Uniek onderzoek bij het KNMI

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

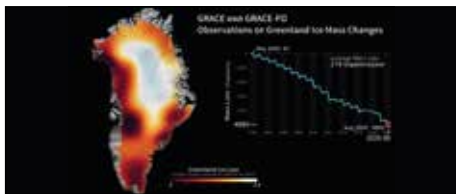
Werken bij het KNMI?

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

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



16



22



28



VAN DE HOOFDREDACTEUR

Als wij meteorologen aan 'weer' denken, dan stellen we ons atmosferische processen voor zoals wind, warmte/kou en regen, allemaal het gevolg van mechanismen in de onderste laag van de atmosfeer (de troposfeer). Maar er is veel meer 'weer'. Een tamelijk recent onderwerp betreft ruimteweer, de invloed van de zon op de aarde, en dan met name de effecten van zonnewind en zonnevlammen op de buitenste lagen van onze atmosfeer: de magnetosfeer, ionosfeer en thermosfeer. In het ongunstigste geval kan ruimteweer onze technologie verstoren, en wel dusdanig dat grootschalige maatschappelijke ontwrichtingen tot de mogelijkheden behoren. Nederland wil zich hiertegen wapenen, en het KNMI gaat daarom in de nabije toekomst behalve het reguliere weeralarm ook een ruimteweeralarm uitgeven, als dat nodig is. In het artikel van Bert van Oord (pagina 22) kunt u meer over dit interessante en belangrijke onderwerp lezen.

Verder is er in dit nummer ruim aandacht voor de voormalig KNMI-hoofddirecteur Wouter Bleeker. Het gaat hierbij vooral om (na)oorlogse besommeringen binnen de muren van het KNMI. Het meest recente decembernummer (2021) bevatte een samenvatting van het boek 'Zwaar weer – het KNMI in de Tweede Wereldoorlog' van Fons Baede en Kees Dekker, waarin verwickelingen rondom het KNMI in oorlogstijd werden besproken. Het blijkt dat ook de aanstelling (na de oorlog) van Bleeker als KNMI-hoofddirecteur nogal wat voeten in aarde heeft gehad, met gebeurtenissen in de oorlog als vermoedelijke spijlzwam. Over het hoe en waarom van 'De zaak Bleeker' leest u in de uitgebreide column van Huug van den Dool op pagina 26.

Dat de erfenis van Bleeker tot op heden doorwerkt op het KNMI blijkt ook uit de column van onze kersverse columnist Thom Zwagers op pagina 30. Hij verwondert zich erover dat wij heden ten dage zoveel meer mogelijkheden hebben (krachtige computers, satellieten) ten opzichte van Bleekers tijd, en desondanks nog maar nauwelijks weten wat we aan het doen zijn. Stof tot nadenken.

Ik wens u veel leesplezier toe.

INHOUDSOPGAVE

- 4 Validatie van het stedelijk hittestressmodel UCAM**
Daan Kivits, Ronald Groen, Iris Dekker
- 10 Metingen van CO2-emissiereducties door COVID-19-lockdownmaatregelen in Europese steden**
Gert-Jan Steeneveld, Bert Heusinkveld
- 16 Zeespiegelstijging – de Groenlandse Ijskap in het opwarmende aardsysteem**
Laura Muntjewerf
- 21 De NVBM-scriptieprijs**
Bestuur NVBM
- 22 Ruimteweer – een 'nieuw' onderzoeksveld**
Bert van Oord
- 25 Wouter Bleeker in 1966**
Cor Schuurmans, Huug van den Dool
- 26 Column – De zaak Bleeker**
Huug van den Dool
- 28 Weermuziek – Buijs Ballot ontmoet Brahms**
Harry Geurts
- 30 Column – BBB en Bleeker**
Thom Zwagers
- 32 Weerspiegeld, het weer nader verklaard**
Harry Geurts
- 33 Samenvatting NVBM-voorjaarssymposium en ALV 2022**
Bestuur NVBM
- 34 Column – Door het ijs gezakt**
Gerard van der Schrier
- 35 NVBM Sponsors en Colofon**

Voorkant

Artistieke weergave van een Coronal Mass Ejection (CME) die aanleiding kan geven tot verstoringen mocht zo'n CME de magnetosfeer van de aarde raken. Linksonder bevindt zich de aarde met de magnetosfeer (de staart van de magnetosfeer is verlengd door de zonnewind, de magnetotail). Rechtsboven staat de zon met convectieve cellen en enkele zonnevlekken (de donkere gebieden). De afgebeelde satelliet is de geplande ESA-VIGIL satelliet die vanuit het vijfde lagrange punt de zon gaat bestuderen. Bron: ESA (www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/11/Future_Vigil_mission).

Validatie van het stedelijk hittestressmodel UCAM

Daan Kivits, Ronald Groen, Iris Dekker (Royal HaskoningDHV)

Als gevolg van klimaatverandering zal stedelijke hittestress in Nederland steeds extremer worden. Dit heeft consequenties voor de volksgezondheid en economie, zoals een toename in de mortaliteit en een verlaagde arbeidsproductiviteit. Door de dynamiek van hittestress te bestuderen, kunnen overheden betere besluiten nemen over de indeling van een klimaatrobuuste stedelijke omgeving. Betrouwbare beslisinformatie over hitte is dan ook essentieel. Het Urban Climate Assessment and Management (UCAM) hittestressmodel berekent aan de hand van beschikbare geoinformatie de hoeveelheid hittestress voor een bepaald interessegebied. Om de prestaties van het model te evalueren hebben we het UCAM gemodelleerde stedelijk warmte eiland gevalideerd. Hierbij zijn de modelresultaten vergeleken met temperatuurmetingen uit Rotterdam en Wageningen tijdens verschillende hittegolven. In dit artikel beschrijven we de belangrijkste bevindingen van ons onderzoek. Daarnaast gaan we in op enkele aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij het valideren van een stedelijk hittestressmodel. Onder meer blijkt de keuze voor een geschikt landelijk achtergrondstation cruciaal in de vergelijking tussen model en metingen.

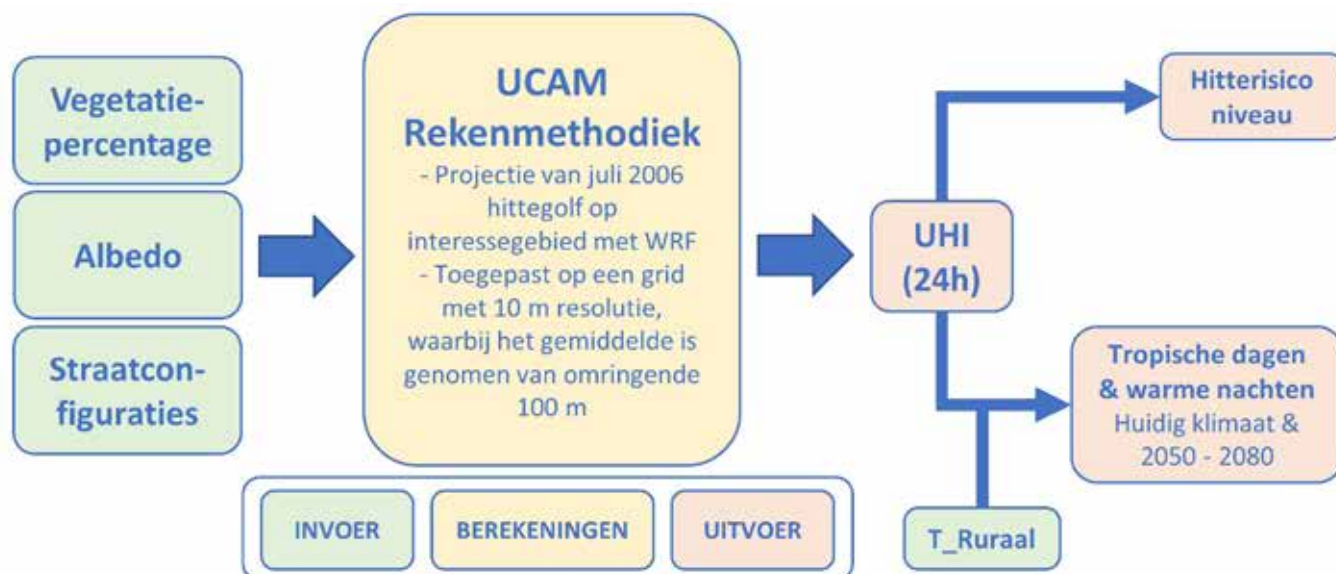
UCAM en hittestress in de stedelijke omgeving

In een samenwerking tussen Wageningen University & Research, KNMI en Witteveen+Bos, hebben Steeneveld et al. (2018) de UCAM-rekenmethodiek ontwikkeld. Deze rekenmethodiek (hierna 'UCAM') is onderdeel van het grotere UCAM-project dat als hoofddoel had om de beschikbare wetenschappelijke kennis over klimaat praktisch toepasbaar te maken (Driessen et al., 2015). Daarbij zou het de beleids- en besluitvorming binnen de stedelijke ruimtelijke ordening moeten ondersteunen. De beoogde combinatie van relatief complexe hittestressbeoordelingen op wijkniveau en goede praktische toepasbaarheid van de rekenmethodiek was destijds innovatief. Hoewel de exacte werking van UCAM grotendeels is beschreven in Steeneveld et al. (2018), is deze hier kort samengevat en ook weergegeven in Figuur 1.

Het UCAM-hittestressalgoritme kwantificeert met behulp van verschillende geografische informatie de mate van stedelijke hittestress voor een interessegebied naar keuze. Deze geografische informatie omvat gegevens over de hoeveelheid vegetatie, de bebouwingshoogte en -dichtheid, het weerkaatsingsvermogen (albedo) van verharde oppervlakken en de hoeveelheid antropogene warmte. De gemodelleerde omgeving wordt opgedeeld in verschillen-

de omgevingsconfiguraties met behulp van Local Climate Zones (LCZ) (Stewart & Oke, 2012), waarbij antropogene warmteproductie en muuralbedo een standaardwaarde krijgen die past bij het omgevingstype. Waterpartijen zijn een complexe variabele, met een plaats- en tijdsafhankelijke variabiliteit die niet te beschrijven is met een generiek model als UCAM. Deze worden in het model sterk vereenvoudigd geparametriseerd als 50% groen en 50% verhard. Op deze manier wordt er rekening gehouden met het opwarmende en afkoelende effect van deze waterpartijen (Steeneveld et al., 2014).

De basis van UCAM is een omvangrijke dataset van temperatuureffecten in stedelijk gebied. Met behulp van het Weather Research & Forecasting (WRF) model zijn de meest voorkomende omgevingsconfiguraties binnen Nederland en België doorgerekend voor de hittegolf van 15 tot 19 juli 2006, waarbij fysieke wijkparameters systematisch zijn gevarieerd. Hierbij is verondersteld dat de situatie op 19 juli 2006 een goede representatie is van typische Nederlandse hittegolffomstandigheden, en dat het model gebruikt kan worden voor andere hittegolffperiodes en steden. De resultaten van de circa 1000 berekeningen maken het mogelijk om voor de meeste stedelijke omgevingstypen op een snelle manier de hitte in een wijk



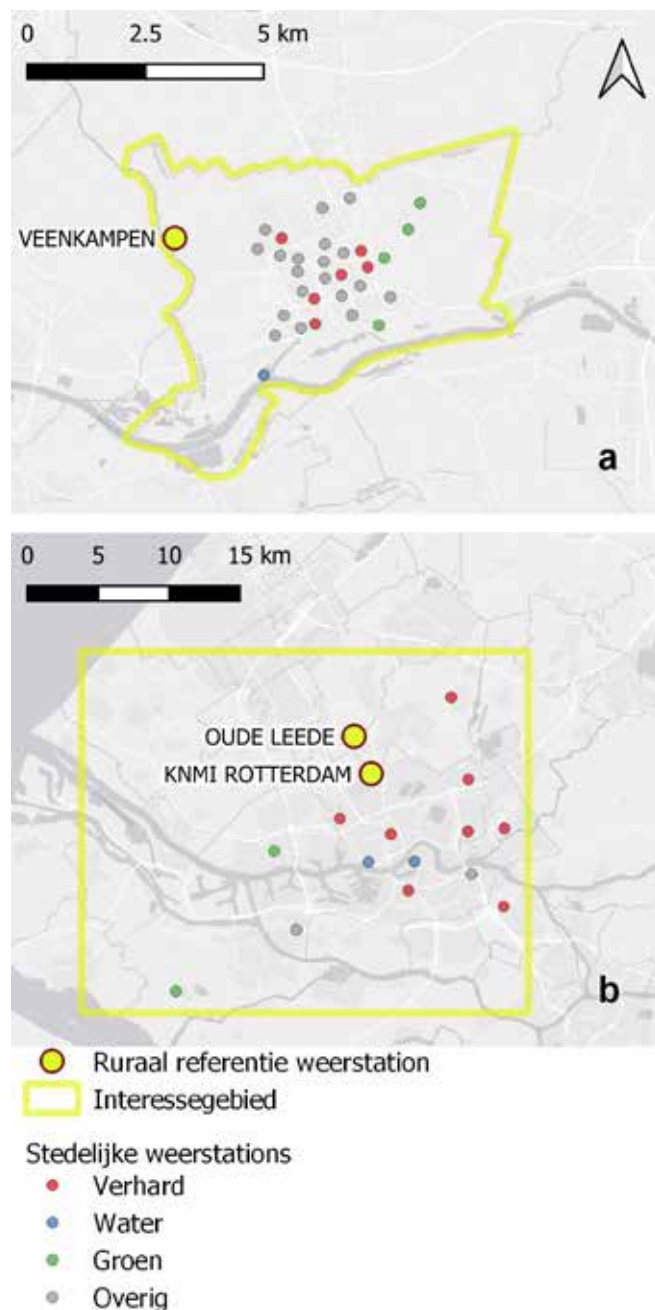
Figuur 1. Schematische weergave van de UCAM-rekenmethodiek.



Figuur 2. Een overzicht van KNMI-weerstations die gebruikt worden in UCAM voor een gegeven interessegebied. Voor deze weerstations zijn klimaatreeksen beschikbaar voor het huidige klimaat (gebaseerd op 1980 tot 2010) en onder meer het WH50 scenario (KNMI'14, het warmste scenario voor 2050).

te bepalen. Dit kan voor bestaande gebieden (op basis van geodata), maar ook voor nieuw te ontwikkelen gebieden (op basis van ontwerptekeningen) of voor maatregelen.

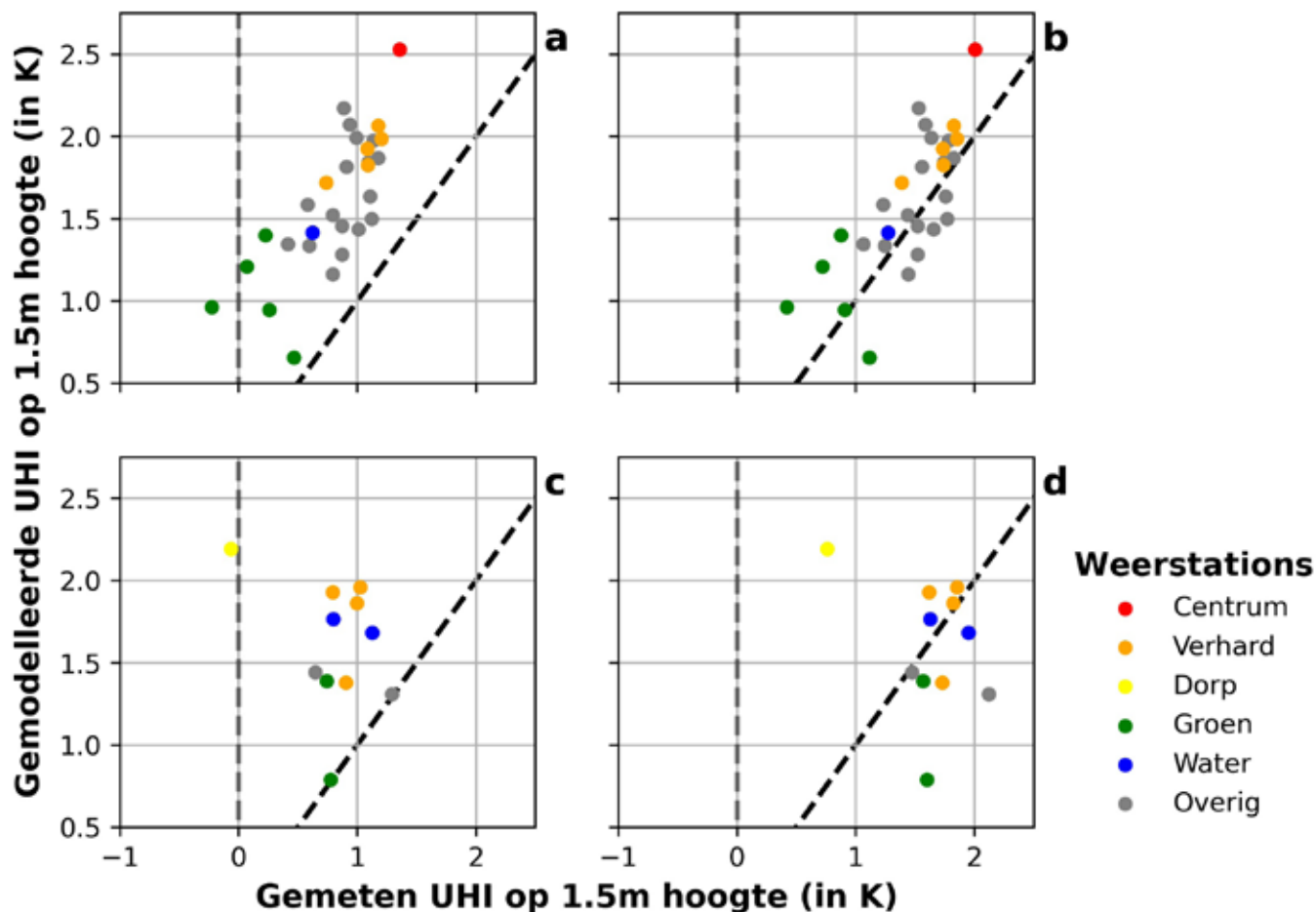
De hoeveelheid stedelijke hittestress kan worden bepaald aan de hand van verschillende hitte-indicatoren die worden berekend (Figuur 1). Centraal hierin staat het vierentwintig-uurs-gemiddelde van het stedelijke warmte-eiland effect (Urban Heat Island, UHI). Het UHI is binnen UCAM gedefinieerd als het temperatuurverschil ten opzichte van een 100% groene omgeving. Met het vierentwintig-uurs-gemiddelde UHI wordt het potentiële en plaatsgebonden hittegezondheidsrisico afgeleid op basis van verhoogde sterftekansen. Het werkelijke risico hangt af van de functies en bevolkingsgroepen die daadwerkelijk worden blootgesteld. Dit resulteert in een hiterisiconiveau van 1 (weinig extra hittestress door bebouwde omgeving) tot 4 (veel extra hittestress). Daarnaast wordt met het berekende 24uurs-UHI het UHI afgeleid op 06:00 uur (UHI-night) en op 18:00 uur (UHIday), omdat de gemodelleerde stedelijke temperatuur dan respectievelijk het laagst en het hoogst is (Steenefeld et al., 2018). Daarmee wordt in een klimaatreeks van 30 jaar geteld hoe vaak, inclusief het berekende UHI, de minimumtemperatuur boven de 20 °C blijft (definitie van een tropische nacht) en de maximumtemperatuur boven de 30 °C uitkomt (definitie van een tropische dag). Vanwege de turbulente menging van lucht in de stedelijke grenslaag wordt de temperatuur op een locatie beïnvloed door de omgeving, dus door omgevingseigenschappen rondom. Dit wordt opgelost door de invoergegevens te middelen over een gebied met een diameter van 100 m (een radius van 50 meter rondom het rekenpunt). De berekeningen worden op 10 meter resolutie uitgevoerd.



Figuur 3. De interessegebieden die zijn gebruikt in deze validatiestudie voor (a) Wageningen en (b) Rotterdam, met bijbehorende referentieweerstations.

Validatiestappen

Het door UCAM berekende UHI hebben we gevalideerd voor de steden Wageningen en Rotterdam, met de interessegebieden en bijbehorende referentieweerstations zoals aangegeven in Figuur 3. Er is voor deze steden gekozen, omdat daar de meeste waarnemingen en meerdere referentieweerstations beschikbaar zijn om mee te valideren. Hierbij hebben we voor Wageningen gebruik gemaakt van de metingen die zijn verricht tijdens de hittegolfperiode in juli 2013, en voor Rotterdam van waarnemingen tijdens de hittegolfperiodes in juli 2015 en augustus 2020. Deze datasets zijn niet één op één te vergelijken met de modeluitvoer, aangezien voor de 'gemeten UHI' altijd twee simultane meetreeksen beschikbaar moeten zijn: een stadsmeting en een referentiemeting. Daar zijn diverse uitdagingen in te overwinnen. Er kunnen bijvoorbeeld in de gemeten data enkele datapunten in de tijdreeks ontbre-



Figuur 4. Spreidingsdiagrammen van gemodelleerde en gemeten UHIGEMIDDELD-waarden, voor Wageningen met referentiestation (a) KNMI-Deelen en (b) de Veenkampen, en voor Rotterdam met referentiestation (c) KNMI-Rotterdam en (d) de Oude Leede.

ken. Daarnaast zijn er events die de vergelijking kunnen verstoren, zoals frontale passages, die op niet alle meetstations binnen het interessegebied op hetzelfde moment dezelfde invloed hebben. Om rekening te houden met het effect van frontale passages, is er gefilterd op basis van plotselinge veranderingen in temperatuur en windrichting. Om de dataset op te vullen, is er gebruik gemaakt van lineaire interpolatie. Om de validatie te beoordelen op kwaliteit, is zo veel mogelijk rekening gehouden met negen kwaliteitscriteria, zie Kader 1. Om te bestuderen hoe de keuze voor een bepaald landelijk referentieweerstation deze validatie beïnvloedt, zijn meerdere referentieweerstations met elkaar vergeleken. Voor Wageningen wordt het UHI berekend met behulp van het nabijgelegen WUR-station de Veenkampen en het meer afgelegen KNMI-station Deelen, die vervolgens zijn vergeleken met de modeluitvoer voor Wageningen. Voor Rotterdam is, naast het nabijgelegen KNMI-station “Rotterdam”, als referentiestation gekozen voor het weerstation aan de “Oude Leede”. Oude Leede is eerder gebruikt voor een onderzoek door Heusinkveld et al. (2014) en heeft tijdens de hittegolf in juli 2015 metingen opgeleverd.

Het belang van het kiezen van een geschikt landelijk referentieweerstation

Terwijl de weerstations Rotterdam en de Veenkampen relatief dicht bij het interessegebied liggen, liggen weerstations de Oude Leede en KNMI-Deelen verder weg. Hierdoor valt KNMI-Rotterdam potentieel binnen het warmte-eiland

van Rotterdam. Ook ligt KNMI-Rotterdam op het terrein van Rotterdam – The Hague airport, terwijl weerstation de Oude Leede omringd is door een homogene bedekking van (goed bevochtigd) laag gras. Om deze redenen scoort dit station slechter op criterium 5 (zie Kader 1) dan weerstation de Oude Leede. KNMI-Deelen ligt ten opzichte van de omgeving in een kom en staat geïnstalleerd op zandgrond. Weerstation Veenkampen staat geïnstalleerd op kleigrond en is qua hoogteligging vergelijkbaarder met Wageningen. Hierdoor lijkt de lokale meteorologie bij de Veenkampen meer op dat binnen Wageningen. Om deze redenen scoort KNMI-Deelen als referentieweerstation voor Wageningen lager op criteria 5 en 8 dan de Veenkampen. Deze scores zijn relevant om mee te nemen in het validatieproces, omdat de vergelijking tussen het gemeten en gemodelleerde UHI afhankelijk is van het gebruikte referentiestation.

Met KNMI-Deelen (Figuur 4a) als referentiestation zien we dat er gemiddeld een lagere UHI is waargenomen dan met de Veenkampen (Figuur 4b). De verklaring hiervoor is dat het bij KNMI-Deelen tijdens hittegolven gemiddeld warmer is dan bij de Veenkampen. Met Veenkampen als referentie is de vergelijking met het model beter. Ook zien we dat de gemiddelde afwijking ten opzichte van het gemodelleerde UHI groter is: respectievelijk 0.80 K en 0.27 K. Dit sluit aan bij de eerdere bevinding dat KNMI-Deelen op meerdere criteria slechter scoort dan de Veenkampen, en dus minder geschikt is als referentieweerstation voor het bestuderen van het UHI in Wageningen.

Gebruik makend van referentieweerstations KNMI-Rotterdam (Figuur 4c) en de Oude Leede (Figuur 4d) zijn de resultaten in Rotterdam vergelijkbaar. Met KNMI-Rotterdam als referentiestation is de gemiddeld waargenomen UHI lager en de gemiddelde afwijking groter dan met de Oude Leede, waarbij de afwijking respectievelijk 0.86 K en 0.41 K is. Met KNMI-Rotterdam als referentiestation komt het gemiddelde waargenomen UHI bij weerstation de Oude Leede negatief uit: -0.83 K. Dit sluit aan bij de bevindingen van Heusinkveld et al. (2014), die voor dit weerstation een gemiddelde UHI van -0.70 K hebben gevonden. Dit zou betekenen dat de waarnemingen van KNMI-Rotterdam worden beïnvloed door het warmte-eiland over Rotterdam en/of door de nabijgelegen verhardingen van de luchthaven, wat aansluit bij de lagere gradering voor KNMI-Rotterdam voor kwaliteitscriterium 5. Als KNMI-Rotterdam wordt gebruikt om het UHI in Rotterdam mee te berekenen, valt deze dus gemiddeld 0.83 K te laag uit (voor de hittegolperiode in juli 2015).

We constateren dat voor de modelvalidatie voor zowel Wageningen als Rotterdam, een lokaal meetstation met goed bevochtigd groen een kleinere afwijking geeft dan respectievelijk KNMI-Deelen en KNMI-Rotterdam, welke beiden minder goed scoren op bepaalde criteria.

Het effect van omgevingsfactoren op het warmte-eiland

Om inzicht te krijgen in hoe UCAM 'presteert' in het bepalen van de effecten van bepaalde omgevingskarakteristieken, hebben we stedelijke weerstations opgedeeld in verschillende klassen. Deze klassen zijn gebaseerd op het meest dominante type landgebruik. Deze klassen bestaan uit 'verhard' voor verharde en bebouwde plekken; 'groen' voor plekken die voornamelijk zijn omringd met vegetatie; 'water' voor plekken die voornamelijk omringd zijn met water; en 'overig' voor plekken die tot meerdere van de bovenstaande klassen behoren of niet onder deze klassen vallen. Daarbij hebben we enkele stations uitgelicht, waaronder het 'centrum' weerstation in Wageningen dat

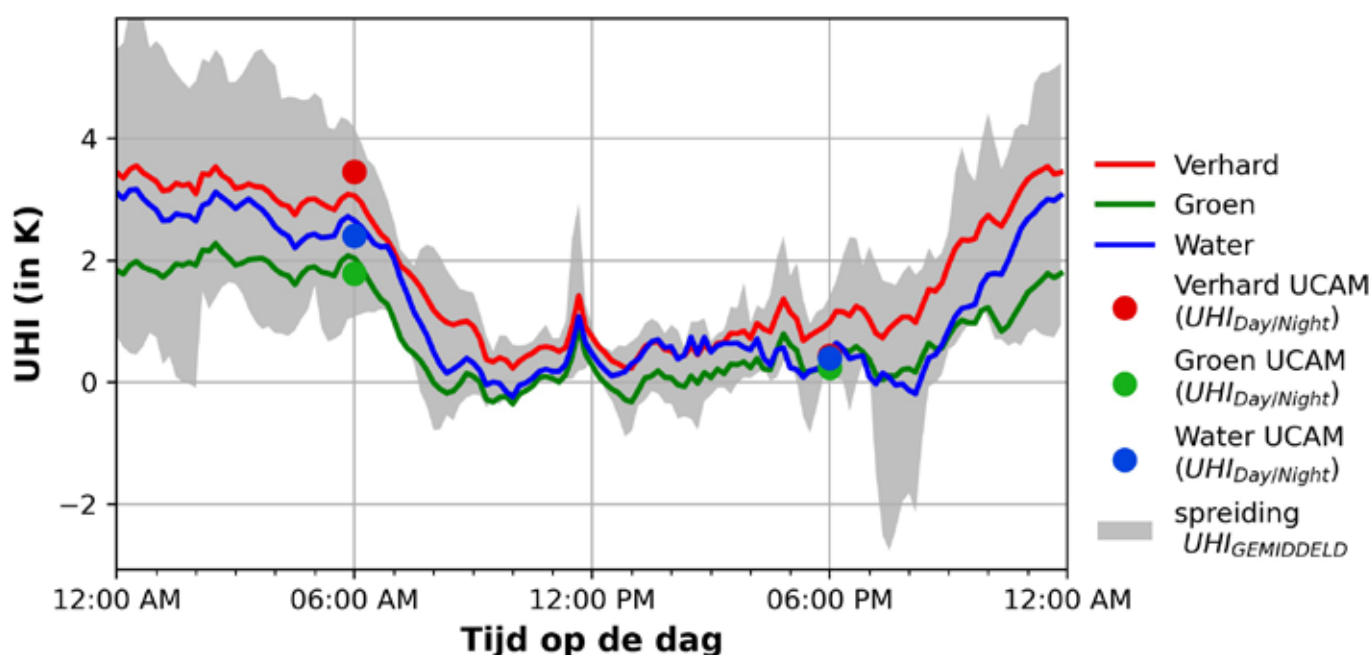
met zijn ligging op het marktplaatsplein uitsluitend is omringd door bebouwing, en het 'dorp' weerstation dat gelegen is in Bernisse, een dorp onder Rotterdam. De stedelijke weerstations zijn handmatig verdeeld in klassen op basis van een deskundige beoordeling, waarbij (op basis van eerdere literatuur) rekening is gehouden met een bronradius van 100 m. Hierna is de dagelijkse gang van het UHI per klasse opgedeeld en vergeleken met het UHI_{day} en UHI_{night}. In Figuur 5 is het gemeten UHI (de lijnen) uitgezet tegen het gemodelleerde UHI (de punten). Hieruit blijkt dat het gemodelleerde UHI qua ordegrrootte, zowel overdag als 's nachts, goed overeenkomt met de metingen. Het gemodelleerde en gemeten UHI zijn het hoogste onder de 'verharde' en het laagste onder de 'groene' klasse, hetgeen overeenkomt met de verwachting op basis van de theorie. Dit sluit aan bij de modelopzet, waarin de aanwezigheid van groen het UHI negatief beïnvloedt: hoe minder groen, hoe hoger het gemodelleerde UHI, en andersom.

Interessant is dat het gemodelleerde UHI onder de 'water' klasse variabel is, maar deze op de gekozen momenten redelijk goed overeenkomt met de metingen. Toch moet daar de kanttekening bij worden geplaatst dat door de complexiteit van de fysische processen binnen de waterpartijen geen harde conclusies kunnen worden getrokken over de prestaties van UCAM voor water als omgevingsfactor.

De constante bronradius zorgt voor een onzekerheid in de validatie. Deze onzekerheid kan in vervolgonderzoek op UCAM worden aangepakt door een stapsgewijze aanpassing van de bronradius.

Conclusies en perspectief

Door een vergelijking te maken tussen het gemodelleerde UHI uit UCAM en de metingen voor Wageningen en Rotterdam zijn de werking en de prestaties van UCAM onderzocht voor twee verschillende stedelijke omgevingen. Hieruit blijkt dat voor de twee onderzochte interessegebieden de omvang van het gemodelleerde UHI, zowel overdag



Figuur 5. De dagelijkse gang van het gemeten gemiddelde UHI in Wageningen (in lijnen; met referentiestation de Veenkampen), die per omgevingsfactor wordt vergeleken met het gemodelleerde gemiddelde UHI (in punten) op 06:00 en 18:00 uur.

als 's nachts, goed overeenkomt met de metingen. Ook worden voor deze gebieden onderlinge verschillen tussen de effecten van verschillende overheersende omgevingskarakteristieken op het UHI gesimuleerd zoals verwacht aan de hand van de theorie. Hierbij geldt: overheersend groen in de omgeving verlaagt het UHI, terwijl overheersend verharde oppervlakken het UHI verhogen. Daarmee

Kader 1 – Kwaliteitscriteria voor bestuderen van UHI

Bij stedelijke warmte-eiland validatiestudies, is het belangrijk om de term 'UHI' goed te definiëren. Stewart (2011) concludeerde dat de helft van alle UHI-validatiestudies de term onvoldoende hebben vastgelegd. Dit maakt het lastig om verschillende publicaties met elkaar te vergelijken. Het UHI moet betrouwbaar kunnen worden berekend als verschil in luchttemperatuur tussen de stedelijke omgeving en de landelijke omgeving. Hiervoor heeft Stewart (2011) de volgende criteria voor de weerstationskeuze, databeschikbaarheid en dataverwerking geïntroduceerd:

1. Deze metingen moeten op een vergelijkbare hoogte zijn verricht.
2. Er moet duidelijk zijn aangegeven welke weerstations zijn gebruikt als landelijke referentie, wat de locatie is van deze weerstations en welke variabelen van deze stations zijn gebruikt.
3. De metagegevens van de gebruikte meetinstrumentatie moet expliciet zijn gegeven, of moet kunnen worden afgeleid.
4. De metagegevens van de gebruikte weerstations zijn voldoende uiteengezet. Hierbij hoort een korte omschrijving van de omgeving, een kaart, en een afbeelding van de omgeving.
5. De gebruikte weerstations moeten representatief zijn voor de lokale omgeving op het gebied van materialen, geometrie, en menselijke activiteit.
6. Het aantal gebruikte waarnemingen is voldoende voor het verkrijgen van representatieve en betrouwbare waarden voor het UHI.
7. Er moet voldoende rekening zijn gehouden met externe weerseffecten, zoals bijvoorbeeld frontale passages, sterke advectie, en neerslag.
8. Er moet voldoende rekening gehouden zijn met mogelijk ongewenste randeffecten door hoogteverschillen, reliëf, en de aanwezigheid van water, of het moet voldoende kenbaar zijn gemaakt.
9. De waarnemingen moeten synchroon zijn verkregen, of de metingen zijn verschoven in de tijd zodat ze aansluiten op elkaar.

Deze criteria maken duidelijk hoe de keuze voor een bepaald landelijk referentieweerstation van invloed kan zijn voor de uitkomst van UHI-validatiestudies. Het gebruik een te afwijkend landelijk achtergrondweerstation, bijvoorbeeld dat niet is omringd door groen gras of waarvan de ligging hoger is dan de gemodelleerde omgeving, kan leiden tot onjuiste conclusies wat betreft het berekenen van het UHI uit met behulp van waarnemingen (Martilli, Krayenhoff & Nazarian, 2020).

levert UCAM betrouwbare informatie over hittestressgevoelige locaties, waardoor het een bijdrage kan leveren voor beleids- en besluitvorming over de inrichting van een gezonde en klimaatadaptieve stedelijke omgeving.

UCAM simuleert het UHI in stedelijke omgeving, waarbij het UHI wordt gedefinieerd als het temperatuurverschil tussen het stedelijke gebied en een lokale groene omgeving. Het verschil tussen het gemodelleerde UHI uit UCAM en de metingen is het kleinst wanneer het gemeten temperatuurverschil wordt bepaald met een landelijk referentiestation dat zo goed mogelijk voldoet aan de kwaliteitscriteria uit Kader 1. Hierbij is een homogene grondbedekking van goed bevochtigd, laag gras rondom het referentiestation belangrijk. Ook moeten invloeden van nabijgelegen stedelijke gebieden op de meteorologie bij een referentiestation zo veel mogelijk vermeden worden. Een onzekerheid binnen de validatie van het gemodelleerde UHI is de grootte van de bronradius die is genomen tijdens de classificatieronde van de weerstations. Dit kan in vervolgonderzoek op UCAM aangepakt worden door de bronradius stapsgewijs te variëren.

Dankwoord

Wij danken Gert-Jan Steeneveld voor zijn begeleiding van het onderzoek en feedback op de verslaglegging. Dit artikel is ontleend aan het volgende stageverslag: Kivits, D.T.J., Dekker, I., Groen, R.J.A. (2022): Temperature-based validation of the UCAM algorithm for Wageningen and Rotterdam during heatwaves. Intern rapport Royal HaskoningDHV.

De observaties voor Wageningen zijn beschikbaar gesteld door de vakgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van Wageningen Universiteit, en zijn verzameld in het kader van het NL eScience project "Summer in the City—Forecasting and mapping thermal human comfort in urban areas" (project 027.012.103).

Literatuur

- Diessen, P.P.J., Vellinga, P., van Deelen, C. L., Slegers, M. F.W., Döpp, S., Heinen, M., & Van Nieuwaal, K. (2015): Knowledge for Climate 2008-2014 (No. KfC 153/2015). Foundation Knowledge for Climate.
- Heusinkveld, B. G., Steeneveld, G.V., Van Hove, L.W.A., Jacobs, C. M. J., & Holtslag, A. A. M. (2014): Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(2), 677-692.
- Martilli, A., Krayenhoff, E. S., & Nazarian, N. (2020): Is the urban heat island intensity relevant for heat mitigation studies? *Urban Climate*, 31, 100541.
- Steeneveld, G. J., Klompaker, J. O., Groen, R. J., & Holtslag, A.A. (2018): An urban climate assessment and management tool for combined heat and air quality judgements at neighbourhood scales. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 204-217.
- Steeneveld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., & Theeuwes, N. E. (2014): Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning*, 121, 92-96.
- Stewart, I. D. (2011): A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200-217.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012): Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.

Contact: daan.kivits@wur.nl



Universiteit Utrecht

Climate Physics

Master's Programme at Utrecht University, The Netherlands

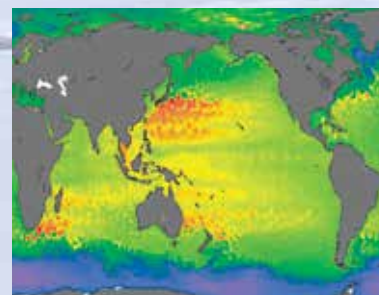
This Master's programme offers a unique combination of theoretical courses and practical training in all aspects of the climate system. Physics, dynamics and chemistry of the atmosphere, the oceans, the glaciers and ice sheets and their interaction are the core of this programme.

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



Metingen van CO₂-emissiereducties door COVID-19-lockdownmaatregelen in Europese steden

Gert-Jan Steeneveld, Bert Heusinkveld (Wageningen Universiteit)

Steden leveren de grootste bijdrage aan de wereldwijde antropogene CO₂-uitstoot door het gebruik van fossiele brandstoffen voor mobiliteit en verwarming (Oke et al., 2017). Stedelijke CO₂-emissies variëren aanzienlijk op (sub)uurlijkse-, dagelijkse, wekelijkse en seizoensschaal. De lockdownmaatregelen die zijn genomen om de verspreiding van COVID-19 te beperken hebben een aanzienlijke invloed gehad op de CO₂-emissies. We inventariseren de emissiereductie voor 11 steden in Europa, waaronder Amsterdam, op basis van eddy-covariantie metingen.

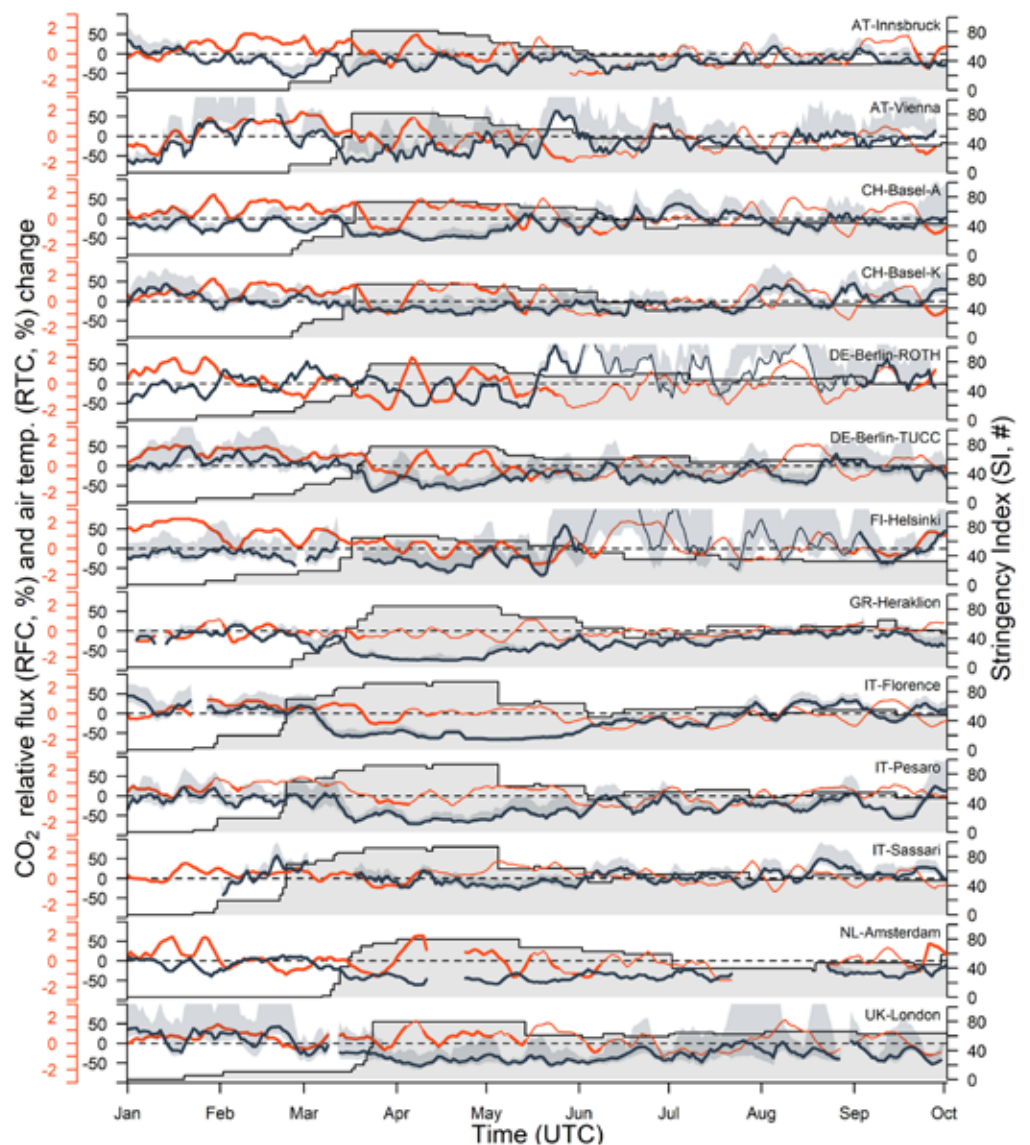
Inleiding

Op wijkschaal kunnen netto CO₂-fluxen direct worden afgeleid uit eddy-covariantie (EC) metingen van turbulente CO₂-uitwisseling. De toepassing van EC in steden is de afgelopen 15 jaar sterk gegroeid. Stedelijke EC-metingen zijn waardevol voor het bestuderen van de dynamiek van turbulente energiefluxen en voor een beter begrip van de koolstofcyclus in steden. De EC-methode is gebaseerd op gelijktijdige hoogfrequente (10-20 Hz) metingen van de verticale windsnelheid en CO₂-concentratie, waardoor de schatting van de verticale uitwisseling van dergelijke variabelen door turbulente bewegingen (wervelingen) binnen de gemiddelde luchtstroom kan worden gemaakt. De metingen zijn continu en representatief voor een footprint, typisch ter grootte van een stadsdistrict afhankelijk van de meethoogte ten opzichte van de gemiddelde gebouwhoogte.

Het begin van de COVID-19-pandemie in Europa in het voorjaar van 2020 veroorzaakte drastische veranderingen in het leven en de sociaaleconomische activiteit van mensen. Overheden namen maatregelen om de ziekteoverdracht te doorbreken, zoals schoolsluitingen en het beperken van sociale bijeenkomsten. De verminderde mobiliteit had onvermijdelijk gevolgen voor het energieverbruik en de antropogene CO₂-emissies. Eerste schattingen op basis van activiteitsreductie suggereerden dat de CO₂-emissies van individuele landen tot wel 30% daalden (Forster et al., 2020). De CO₂-emissiereducties op stadsschaal kunnen

echter niet eenvoudig op basis van veranderingen op nationaal niveau worden bepaald.

Stedelijke EC-stations die voor én tijdens 2020 actief waren, bieden een unieke kans om te onderzoeken hoe de lockdownmaatregelen veroorzaakt door de COVID-19-pandemie de CO₂-emissies op stadsschaal hebben beïnvloed. Met halfuurlijkse CO₂-fluxmetingen kunnen tijdelijke veranderingen in de CO₂-emissies worden gevolgd, zowel



Figuur 1. Dagelijkse procentuele CO₂-fluxverandering (RFC, donkergrijze lijn met gearceerd interkwartielbereik) voor januari-oktober 2020 ten opzichte van voorgaande jaren. De Oxford Stringency Index (lichtgrijs gearceerd gebied), en de procentuele daggemiddelde luchttemperatuurverandering (RTC, rode curve, in K).

tijdens de initiële lockdownperiode als tijdens de daarop volgende herstelfase, wanneer economische activiteiten en mobiliteit geleidelijk worden hervat.

Deze studie onderzoekt de grootte van de emissie-reducties op wijksschaal voor 11 steden in Europa, en of de reductie schaalde met de strengheid van de overheidsmaatregelen. Ook onderzoeken we of er dagelijkse en wekelijkse gang te zien is in de CO₂-reducties, en of de uitstoot weer terugkwam op het oude niveau na opheffing van de beperkingen.

Methoden

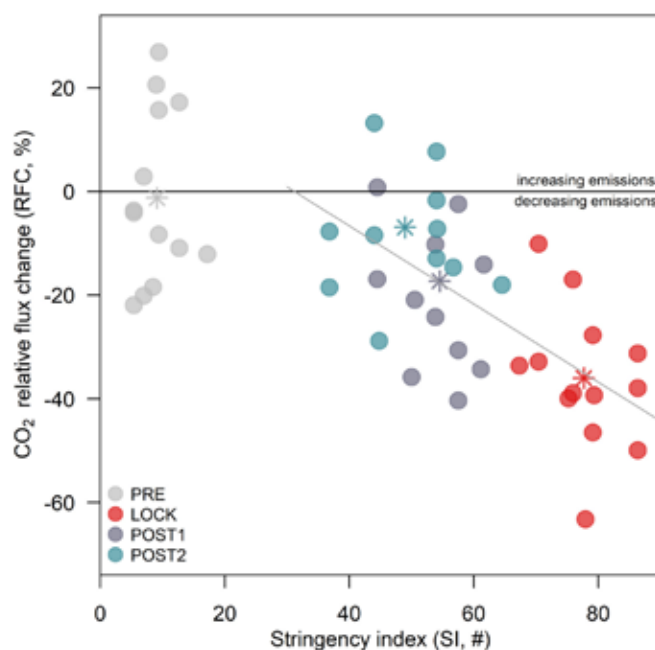
Met behulp van waarnemingen van 13 EC-stations in 11 Europese steden (Figuur 1) vergelijken we de stedelijke CO₂-fluxen tussen 2020 en voorgaande jaren. Voor Amsterdam leverden de Wageningen Universiteit en het AMS-Institute de benodigde waarnemingen. Elk EC-station was uitgerust met een 3D ultrasone anemometer, een gasanalysator voor het meten van CO₂-concentraties en meteorologische sensoren die de luchttemperatuur en -vochtigheid, luchtdruk en zonnestraling meten. Alle systemen verzamelden gegevens bij 10 of 20 Hz, die werden verwerkt tot halfuurlijkse CO₂-fluxen. Voor een gedetailleerde beschrijving van de datakwaliteitscontrole verwijzen we naar Nicolini et al. (2022).

Afhankelijk van de stad beslaan de metingen van vóór 2020 tussen de 2 en 14 jaar. De studieperiode werd opgedeeld in vier perioden volgens de zogenaamde Oxford Stringency Index (OSI, Hale et al., 2020). De OSI kwantificeert de overheidsmaatregelen tegen COVID-19 in een maat tussen 0 en 100. Hoewel de bijdragende factoren aan deze index variëren tussen landen en steden, geeft de OSI wereldwijd inzicht in de ontwikkeling van de pandemie. We hebben een minimumdrempel van OSI = 65 vastgesteld (64.3 is het 60e kwantiel van de OSI-waarden voor de geanalyseerde steden in de periode januari – oktober 2020) om de lockdownperiode (LOCK) in elke stad te definiëren. De lengte van deze periode varieerde van 19 dagen in Helsinki tot 75 dagen in Basel en Amsterdam. Vervolgens werd een voor-pandemische periode (PRE) gedefinieerd die duurde van 1 januari tot het begin van LOCK, en werden twee opeenvolgende 60-daagse periodes, POST1 en POST2, geïdentificeerd na LOCK om het emissieherstel te evalueren.

De afwijkingen in CO₂-fluxen werden gekwantificeerd als een relatieve fluxverandering (RFC, %). De berekening van RFC was gebaseerd op daggemiddelden en dagelijkse patronen (halfuurgemiddelden van de CO₂-fluxen). Negatieve (positieve) waarden van RFC duiden op een vermindering (verhoging) van de CO₂-fluxen ten opzichte van de referentieperiode.

We hebben ook de relatieve luchttemperatuurverandering op een vergelijkbare manier berekend (RTC, %) om het potentiële effect van temperatuurafwijkingen op de waargenomen fluxen te evalueren. We gingen ervan uit dat de CO₂-uitstoot van commerciële en huishoudelijke verwarming relevant wordt wanneer de daggemiddelde luchttemperatuur lager is dan 15 °C. Deze drempel wordt beschouwd als de temperatuur waarbij de verwarming in Europa wordt ingeschakeld.

Om de waarnemingen verder te interpreteren werden brede landgebruiksklassen op een geautomatiseerde



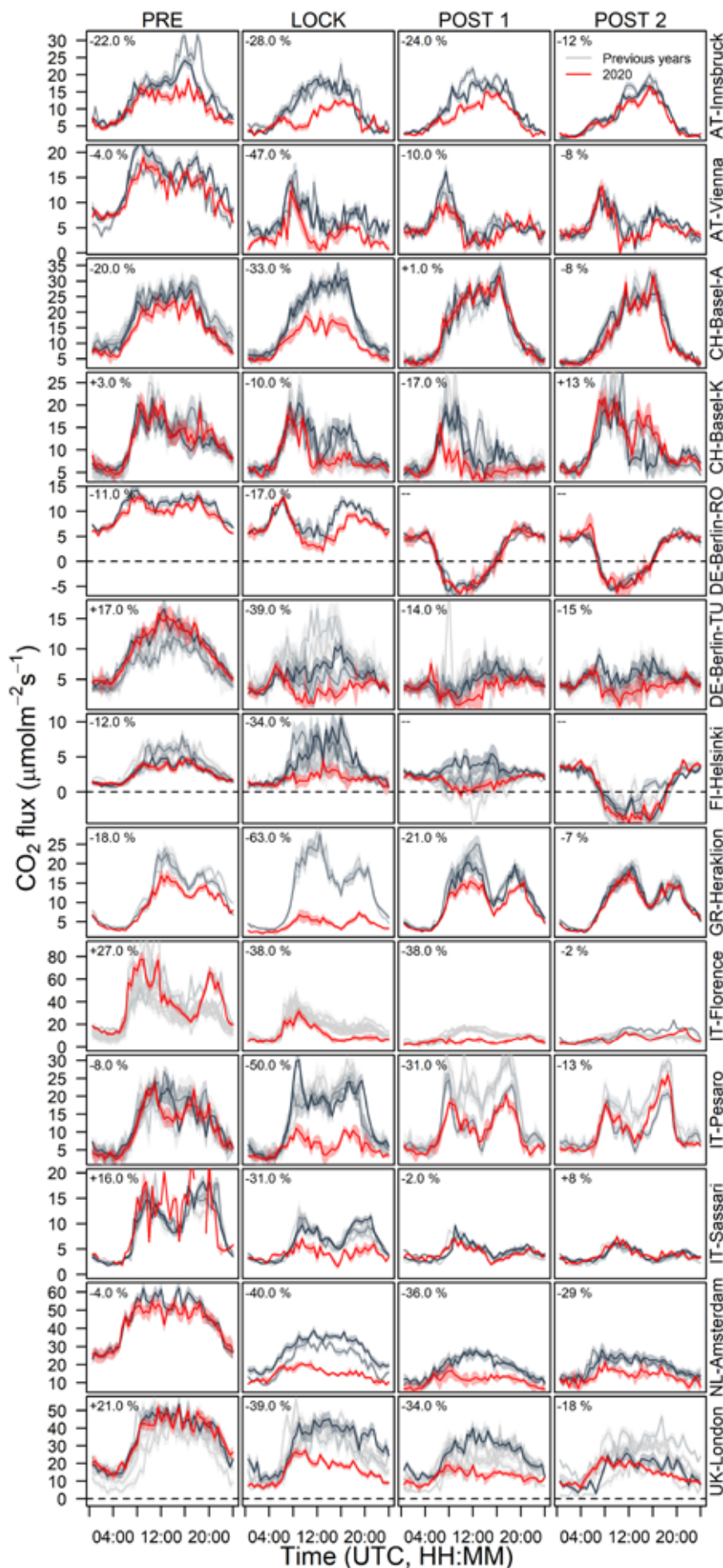
Figuur 2. Gemiddelde procentuele CO₂-fluxverandering (RFC, %) als functie van de gemiddelde Oxford-stringency-index (OSI) voor elke periode. RFC-waarden vertegenwoordigen het gemiddelde van dagelijkse RFC's verkregen tussen 2020 en voorgaande jaren. De lineaire regressie (grijze lijn) is gebaseerd op LOCK, POST1 en POST2. Bron: Nicolini et al. (2022)

manier (voor details zie Nicolini et al. (2022)) gedefinieerd met behulp van Google Earth en Sentinel-2 satellietwaarnemingen. RES zijn overwegend woonwijken bestaande uit woonstructuren, maar ook stadsdelen en stadscentra; nRES zijn niet-residentiële gebieden bestaande uit industriële en commerciële gebieden, en scholen; ROD zijn gebieden als wegen- en spoorwegnetwerken; GUA zijn groene stedelijke gebieden met doorlatende oppervlakken met vegetatie zoals gazons, parken, groenstroken, landbouwgrond, stadsbossen. Per periode is voor elk halfuur en windrichting (2° sectoren) RFC berekend tussen CO₂-fluxen in 2020 en voorgaande jaren en vervolgens gemiddeld per sector.

Vermindering van dagelijkse CO₂-emissie

Alle steden toonden een duidelijke CO₂-emissieverlaging die samenviel met de overheidsmaatregelen (Figuur 1), met dagelijkse RFC-waarden tussen -5% en -87%. De waargenomen emissieverlaging tijdens LOCK was op alle locaties statistisch significant. De grootste reducties zagen we bij GR-Heraklion met een interkwartielbereik van RFC van [-75%, -46%], gevolgd door IT-Pesaro [-71%, -34%], IT-Florence [-66%, -37%], DE-Berlijn-TUCC [-63%, -36%], VK-Londen [-58%, -33%] en CH-Basel-A [-53%, -26%]. In AT-Wenen, GR-Heraklion, NL-Amsterdam en VK-Londen daalden de emissies al 5 – 7 dagen voor het officiële begin van LOCK als reactie op de thuiswerkadviezen.

Voor de meeste steden werden begin mei de strengste lockdownmaatregelen geleidelijk afgebouwd (Figuur 1). Voor de periodes POST1 en POST2 keerden de dagelijkse CO₂-fluxen in de meeste steden terug naar niveaus die vergelijkbaar waren met voorgaande jaren (DE-Berlijn ROTH, GR-Heraklion, IT-Florence, IT-Sassari, CH-Basel-A, CH-Basel-K, AT-Innsbruck, AT-Wenen, FI-Helsinki). Bij de



Figuur 3. Dagelijkse gang van CO₂-fluxen tijdens de eerste lockdown (LOCK), ervoor (PRE) en daarna (POST1 en POST2). Fluxen gemeten in 2020 (rood) en voorgaande jaren (grijs, donker-grijs 2019 met standaardfout (arcering)). Percentage: gemiddelde CO₂-flux reductie op dagbasis. Bron: Nicolini et al. (2022)

andere steden, waaronder Amsterdam, bleven de CO₂-fluxen 13% tot 30% onder de basiswaarden.

Sinds het begin van de lockdown droegen de CO₂-emissies van de verwarming van gebouwen op de meeste locaties bij aan de totale CO₂-fluxen. Daardoor hebben synoptische variaties in weerpatronen en bijbehorende temperatuurveranderingen invloed op de CO₂-emissies en dragen ze bij aan de variabiliteit in de RFC. Voor relatief koude dagen (gemiddelde luchttemperatuur < 15 °C) zonder sterke beperkingen (OSI < 40), werd een negatieve correlatie gevonden tussen RFC en RTC, met name bij CH-Basel-A, DE-Berlin-ROTH en NL-Amsterdam, waarschijnlijk als gevolg van een vermindering van de warmte-gerelateerde emissies.

Emissiereductie en mate van overheidsmaatregelen

Alle steden ondergingen een significante emissiereductie tijdens LOCK (OSI > 65), en verschillende steden toonden ook een emissiereductie in de daaropvolgende maanden (POST1 en POST2) waarin enkele beperkende maatregelen van kracht bleven. Op bijna alle locaties bereikte de RFC zijn minimum (< -50%) voor de hoogste OSI-waarden rond 70 – 80 toen de meest beperkende maatregelen van kracht waren. Er waren echter twee locaties waar de emissies zelfs onder de strengste beperkingen slechts licht verminderden (IT-Sassari en CH-Basel-K). Dit suggereert dat de belangrijkste emissiebronnen van die districten gedeeltelijk waren losgekoppeld van de ernst van de lockdown, bijvoorbeeld als de fluxen niet sterk beïnvloed worden door verkeer. Sommige locaties vertoonden een duidelijke en consistente afname in RFC met OSI (bijv. AT-Vienna, GR-Heraklion, IT-Pesaro), terwijl andere meer variabiliteit lieten zien (bijvoorbeeld AT-Innsbruck, FI-Helsinki), wat duidt op een complexere situatie qua emissiereducties. Voor alle locaties samen vonden we een significante correlatie tussen RFC en OSI (Figuur 2). De gemiddelde RFC tijdens LOCK bedroeg -36% en daalde tot -17% en -7% in respectievelijk de POST1- en POST2-periode. In de PRE-periode met OSI < 20 was de gemiddelde RFC niet significant verschillend van nul (Figuur 2).

Dagelijks patroon van CO₂-fluxen

De dagelijkse gang van de CO₂-flux toonde significante reducties in alle

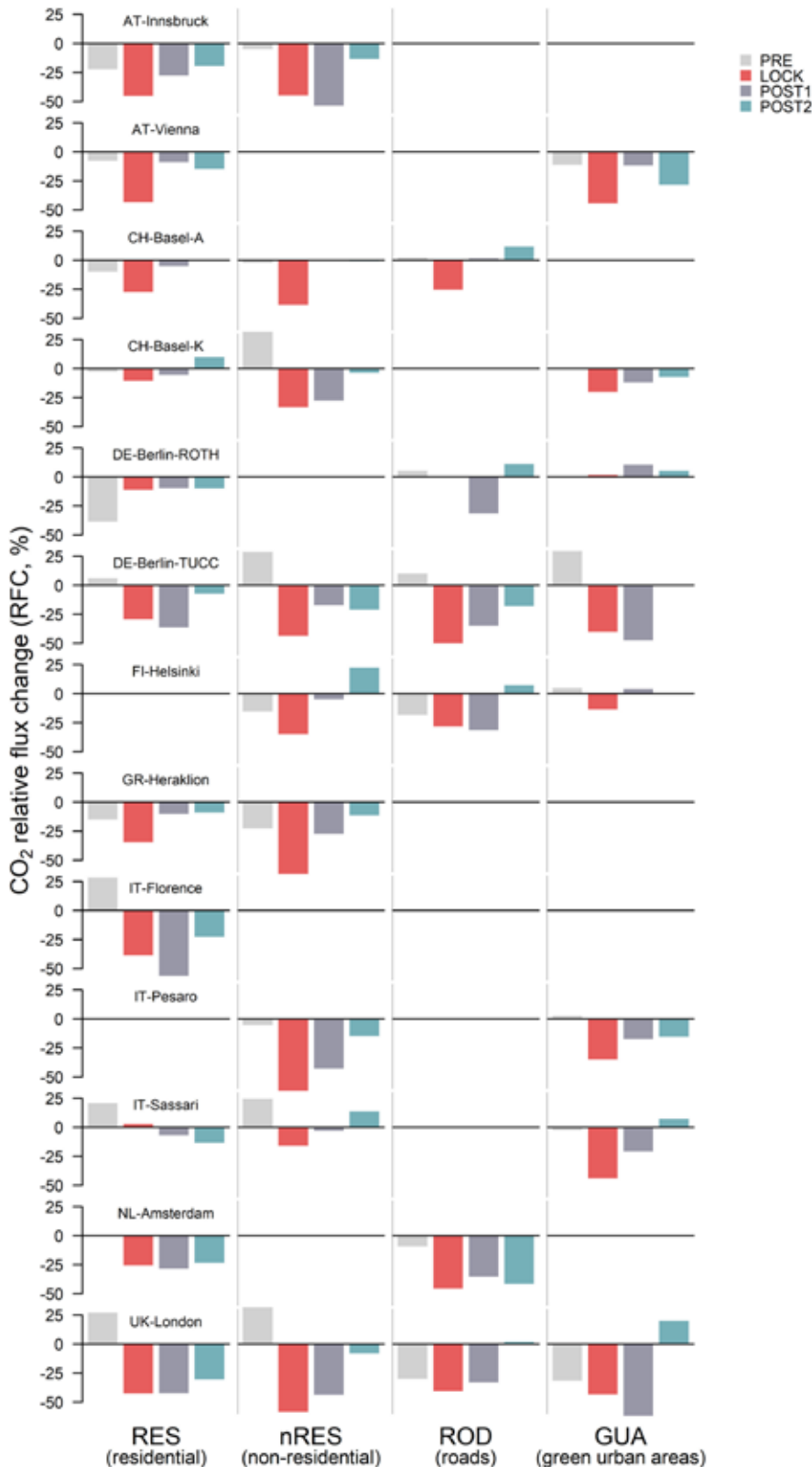
locaties tijdens de LOCK-periode in vergelijking met de voorgaande jaren (Figuur 3), variërend van 10% bij CH-Basel-K tot 63% bij GR-Heraklion. Voor NL-Amsterdam werd een reductie van 40% gevonden. De reducties vonden voornamelijk overdag plaats (Figuur 3), behalve in grotere steden (AT-Wenen, NL-Amsterdam, UK-Londen), waar beperkingen ook 's nachts een duidelijk effect hadden. De timing van de emissiereducties tijdens LOCK verschilde

soms per locatie, bijvoorbeeld voornamelijk in de ochtend in AT-Innsbruck en GR-Heraklion, en in de middag in CH-Basel-K en DE-Berlijn-ROTH (Figuur 3).

Tijdens de PRE-periode werden, ondanks een natuurlijke variabiliteit tussen de jaren op alle locaties, emissies onder de basiswaarden over voorgaande jaren al geregistreerd in AT-Innsbruck, CH-Basel-A en GR-Heraklion. Dit resultaat is waarschijnlijk niet gerelateerd aan COVID-19,

aangezien er gedurende het grootste deel van deze periode geen beperkingen van kracht waren. In Innsbruck en Basel werden deze lager dan gemiddelde emissies toegeschreven aan bijzonder milde temperaturen in februari 2020. Dit heeft waarschijnlijk geleid tot een afname van het gebruik van huishoudelijke verwarming, waarvan ongeveer 70% door fossiele brandstoffen in Innsbruck en 25% in Basel. Hierdoor werd vooral in de middag de CO₂-uitstoot verminderd (Figuur 4). In Heraklion was de temperatuur in deze periode bijna normaal en de verwarming voor deze locatie gebeurt voornamelijk elektrisch. De gemeten afname in begin 2020 had gevolgen voor zowel de ochtend- als de middagpiek (Figuur 4, LOCK-kolom) en dit kan worden verklaard uit wijzigingen in de verkeersregels door de lokale autoriteiten.

De gedeeltelijke opheffing van beperkingen gedurende POST1 en POST2 leidde tot een algemeen emissieherstel, die tijdens POST2 in 9 van de 13 districten het basisniveau bereikten. In vier steden (DE-Berlijn-TUCC, IT-Pesaro, NL-Amsterdam en UK-Londen) bleven de emissies statistisch lager tijdens POST2, met -13% < RFC < -29% (Figuur 3). Bij NL-Amsterdam bleven de emissies de hele dag onder het basisniveau (Figuur 3), hoewel de sociale beperkingen niet bijzonder streng waren tijdens POST2 (OSI = 44.8). De binnenstad van NL-Amsterdam wordt gekenmerkt door veel toerisme, wat door de pandemie terugviel met 60% in juli en augustus 2020 (CBS 2021). Dit zou ook de reden kunnen zijn voor de dalingen die tijdens de POST-periodes werden waargenomen in UK-Londen en IT-Pesaro. In VK-Londen bleven de overheidsmaatregelen echter streng, zowel tijdens POST1 als POST2 (OSI = 64.5 tijdens POST2), en het thuiswerkadvies werd goed opgevolgd. Deze factoren zouden er ook toe hebben bijgedragen dat de sociaaleconomische activiteiten in het centrum van Londen, waar de EC-toren zich



Figuur 4. Procentuele verandering in relatieve CO₂-flux (RFC) als functie van het landgebruik en de lockdownperiode. Wijksectoren worden gedefinieerd als residentieel (RES), niet-residentieel (nRES), wegen en stadsgroen (ROD en GUA). Bron: Nicolini et al. (2022)

bevindt, onder de seizoensgebonden basislijn bleven.

De dagelijkse gang van de CO₂-flux op de verschillende locaties valt uiteen in twee hoofdcategorieën: een bimodaal emissiepatroon dat typisch is voor locaties met veel verkeer en bijbehorende ochtend- en avondspits (bijvoorbeeld DE-Berlijn-ROTH, GR-Heraklion, IT-Pesaro, IT-Sassari, Figuur 3) en een mono-modaal patroon met één piek in de middag (zoals AT-Innsbruck, NL-Amsterdam en UK-London). Op sommige locaties bleven het temporele patroon en de grootte van de basislijnen vergelijkbaar over de verschillende perioden van PRE tot POST2 (bijvoorbeeld AT-Innsbruck, CH-Basel-A, GR-Heraklion, IT-Pesaro in Figuur 3), terwijl in andere gevallen de grootte en/of het patroon van de flux in verschillende perioden veranderde. Dit suggereert een seizoensgebonden verandering in de CO₂-fluxen, onafhankelijk van de pandemie. Voor IT-Florence leidt de verbranding van fossiele brandstoffen voor de verwarming van gebouwen bijvoorbeeld tot grote CO₂-emissies in de winter. Later in het jaar tijdens POST1 en POST2 (late lente tot zomer), zijn de emissies lager en verandert het patroon met twee emissiepieken in de winter tot een enkele piek rond het middaguur. Deze middagpiek hangt samen met emissies van verkeer en commerciële activiteiten die in het centrum van deze toeristische stad niet worden gekenmerkt door woon-werkverkeer.

Door emissies van gepaarde EC-waarnemingen in residentiële en niet-residentiële gebieden van dezelfde stad te vergelijken, is het mogelijk om kwalitatieve informatie over de dominante CO₂-bron te schatten. Er worden bijvoorbeeld emissiepatronen met enkele piek waargenomen in CH-Basel-A en DE-Berlin-TUCC, beide locaties die worden gedomineerd door niet-residentiële gebieden waar de emissies gelijkmatiger zijn verdeeld tijdens de kantooruren. Daarentegen worden bimodale emissiepatronen gezien in CH-Basel-K en DE-Berlin-ROTH, die meer representatief zijn voor woonwijken.

Effecten van lockdown op dagelijkse gang CO₂-flux

Voor de meeste van deze stedelijke locaties zijn de waargenomen CO₂-fluxen positief gedurende de dag en in de periode van januari tot oktober (Figuur 3). Er werd echter netto CO₂-opname waargenomen in DE-Berlin-ROTH en FI-Helsinki tijdens POST1 en POST2, wat kan worden verklaard uit de CO₂-opname door de rijkelijk aanwezige vegetatie. Mogelijke versturende effecten van vegetatiedaling op de analyse van netto reducties in antropogene CO₂-emissies als gevolg van de lockdown kunnen worden uitgesloten omdat de vegetatie niet actief was tijdens de PRE- en LOCK-periodes.

Rol van stedelijke morfologie: analyse van landgebruikstype

Windsectoren geclassificeerd als niet-residentiële gebieden (nRES) vertoonden in alle steden de grootste emissiereductie tijdens LOCK (Figuur 4). De andere typen landgebruik vertoonden ook reducties tijdens LOCK, maar die reducties hielden ten minste gedeeltelijk aan tijdens POST1 en POST2-herstelfases, terwijl een sneller emissieherstel werd waargenomen in nRES bij de start van POST1. Het emissieherstel in woonwijken (RES, Figuur 4) was minder duidelijk en volgde verschillende temporele

dynamieken tussen steden. Dit was waarschijnlijk te wijten aan corona-gerelateerde veranderingen in het voertuigverkeer en emissies die verband houden met verwarming, koken en menselijke ademhaling, die afhangen van de bevolkingsdichtheid en andere specifieke wijkenmerken. Evenzo vertoonden sectoren die worden gedomineerd door wegen en groene stedelijke gebieden (respectievelijk ROD en GUA) locatie-specifieke emissiedynamiek tijdens de herstelfase.

Conclusies

Directe CO₂-fluxmetingen van 13 eddy-covariantie stations in Europa geven op alle meetlocaties een aanzienlijke verminderde CO₂-emissie tijdens de strengste COVID-19-lockdownmaatregelen in het voorjaar van 2020. Voor de meeste locaties keerde de CO₂-uitstoot in de herfst van 2020 terug naar het niveau van vóór de pandemie. De emissiereducties vonden voornamelijk overdag plaats, vooral door de vermindering van het autoverkeer. Daarentegen zijn de emissies die verband houden met thuiswerk-advies (verwarming, koken, menselijke stofwisseling) onvoldoende gestegen om de vermindering van de emissies door het wegverkeer te compenseren. De snelheid en omvang van het emissieherstel varieerde van locatie tot locatie, waarbij het snelste en meest volledige herstel vooral te zien was in de niet-residentiële gebieden en werd toegeschreven aan het herstel van het autoverkeer. Het is interessant om onze resultaten in het globale perspectief te plaatsen. Onze resultaten illustreren enerzijds dat het veranderen van menselijk gedrag een direct effect heeft op de vermindering en het herstel van stedelijke CO₂-emissies. Op wereldschaal bestudeerden Ray et al. (2022) CO₂-emissies van 47 getroffen landen en hun 105 steden. Zij vonden dat het effect COVID-19 effect substantieel was, maar kortdurend en niet duurzaam. Ook is de CO₂-concentratie trend op de referentie meetlocatie op Mauna Loa (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>) nauwelijks beïnvloed door de genomen lockdownmaatregelen. Dit illustreert dat, in vergelijking met de corona-crisis, maatregelen om klimaatverandering serieus te bestrijden een relatief zwaar beslag zullen leggen op de samenleving.

Referenties

- Forster, P.M., H.I. Forster, M.J. Evans, M.J. Gidden, C.D. Jones, C.A. Keller, R.D. Lamboll, C. Le Quéré, J. Rogelj, D. Rosen, C.F. Schleussner, T.B. Richardson, C.J. Smith, S.T. Turnock, 2020: Current and future global climate impacts resulting from COVID-19, *Nat. Clim. Chang.*, 10, 913-919, 10.1038/s41558-020-0883-0
- Hale, T., T. Boby, N. Angrist, E. Cameron-Blake, L. Hallas, B. Kira, S. Majumdar, A. Petherick, T. Phillips, H. Tatlow, S. Webster, 2020: Variation in government responses to COVID-19, Version 9.0, Blavatnik Sch. Gov. Work. Pap
- Nicolini, G., en co-auteurs, 2022: Direct observations of CO2 emission reductions due to COVID-19 lockdown across European urban districts, *Science of The Total Environment*, 830, paper 154662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154662>
- Oke, T.R., G. Mills, A. Christen, J.A. Voogt, 2017: *Urban Climates*, Cambridge University Press, 10.1017/CBO9781107415324.004
- Ray, R.L., V.P. Singh, S.K. Singh, B.S. Acharya, Y. He, 2022: What is the impact of COVID-19 pandemic on global carbon emissions? *Science of The Total Environment*, 816, paper 151503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151503>

Contact: gert-jan.steeneveld@wur.nl



Compacte Ultrasonische Windmeter 2D WP

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



Compacte Ultrasonische Windmeter 2D

Meetbereiken : WS 0...60m/s
 WR 0...360°
 Temperatuurbereik : -50 - +70°C
 Uitgangen : 4 - 20mA / 0-10V



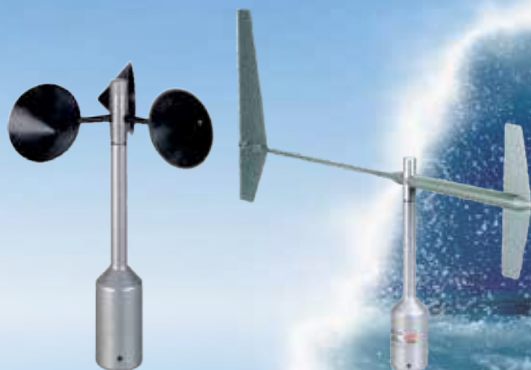
Ultrason complete GBS Meteo Station - USM serie

meetbereiken : 0... 60 m/s, 0 ... 360°, -30...+70°C, 0...100%RV,
 300...1100 hPa, 0...150 kLux, 0...10mm/min neerslag
 analoge uitgangen : 0 ... 10V, 2...10V
 digitale uitgangen : RS485, RS422, ASCII, ModBus RTU



Low Cost Meteo Station Compact - WSC11

meetbereiken : 0...40 m/s, 1...360°, -30...+60°C,
 0...100%RV, 300...1100 hPa, 0...150 kLux
 uitgang : RS485
 protocol : MODBUS RTU



First Class serie - conventionele windopnemers

meetbereiken : 0,3... 75 m/s, 0 ... 360°,
 -30...+70°C, 0...100%RV
 uitgangen : 0/4-20mA, 0-2/5/10V, 0-630Hz (ws)
 2, 3, 4 bit Gray code (wr), 5 bit Gray code (wr)
 voeding : 12 ... 24V (afhankelijk van type uitgang)



Compact serie - robuuste conventionele windmeters

meetbereiken : 0,5 ... 50 m/s / 0 ... 360°
 uitgangen : 0/4-20mA, 0-2/5/10V, 0-630Hz (ws)
 2, 3, 4 bit Gray code (wr), 5 bit Gray code (wr)
 voeding : 12 ... 24V (afhankelijk van type uitgang)

Zeespiegelstijging – de Groenlandse Ijskap in het opwarmende aardsysteem

Laura Muntjewerf (KNMI)

Opwarming van de aarde heeft gevolgen voor de zeespiegel. De mondiale zeespiegelstijging is een combinatie van verandering in het volume van de oceaan (thermische uitzetting) en verandering in de massa van de oceaan (meer water). Daarnaast draagt bodemdaling bij aan het zeespiegelbudget. De zeespiegel reageert met een vertraging op een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur, omdat het tijd kost voor de diepere oceaanwateren om op te warmen en voor landijs om te smelten. De Groenlandse ijskap (Greenland Ice Sheet, GrIS) blijkt erg gevoelig te zijn voor het veranderende klimaat. In dit artikel gaan we in op de bijdrage van de GrIS aan mondiale zeespiegelstijging.

Klimaatverandering en zeespiegelstijging

Waarnemingen van de satellietmissie GRACE over de periode 2002 – 2020 in Figuur 1 laten zien dat de GrIS gemiddeld 279 Gt (gigaton) per jaar massa verloor, wat gelijk staat aan een mondiale zeespiegelstijging van 0.72 mm (mm Sea Level Equivalent (SLE)) per jaar. Ongeveer de helft van het huidige massaverlies wordt toegeschreven aan oppervlaktemassaverliezen (bijvoorbeeld door afvloeiing van smeltwater; zie Kader 1), en het andere grootste deel aan dynamische verliezen (bijvoorbeeld door ijsafvoer, afkalven) (Van den Broeke et al., 2016).

Er is nog veel onduidelijk over de grootte en impact van positieve terugkoppelingsmechanismen in de relatie tussen CO₂, de wereldgemiddelde temperatuur en het zeeniveau op de tienjarige en honderdjarige tijdschalen (zie Kader 2). Dit zijn de tijdschalen die belangrijk zijn voor politiek en beleidsmakers waarin risico's en potentiële gevolgen van zeespiegelstijging moeten worden vertaald naar waterveiligheidsplannen. Het is daarom belangrijk ons begrip te vergroten van processen die het massaverlies van de ijskap op deze tijdschalen beïnvloeden.

GrIS in het huidige klimaat

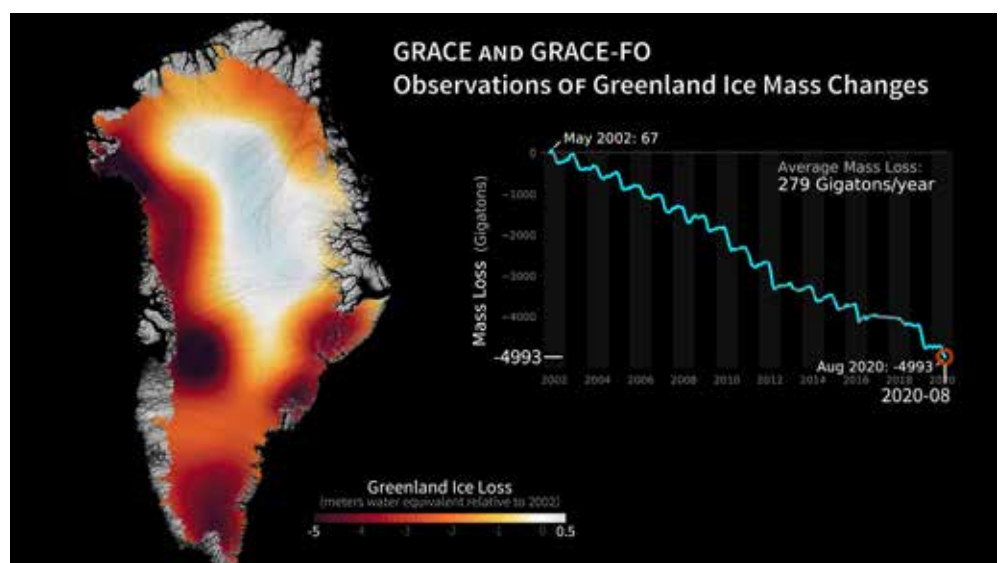
De Groenlandse Ijskap is het grootste zoetwaterreservoir op het noordelijk halfrond. Op het hoogste punt is het ijs dikker dan 3 km. Deze ijskap bevat de hoeveelheid massa om de wereldgemiddelde zeespiegel met ongeveer 7.4 m te doen stijgen. De GrIS wint aan massa door neerslag (Kader 1). De natuurlijke variabiliteit in de neerslagpatronen van de GrIS wordt sterk beïnvloed door processen op synoptische schaal zoals depressie-activiteit in de Noord-Atlantische Oceaan. Tropische cyclonen die voor de oostkust van Noord-Amerika afbuigen, volgen doorgaans een gemiddeld pad over de Noord-Atlantische Oceaan naar Europa. In de winter buigt het traject van sommige van deze lagedrukgebieden af naar het noorden, waar ze als (storm-)depressies aan land komen in het zuiden

en zuidoosten van Groenland. In combinatie met de steile orografische gradiënten in deze regio resulteert dit in veel neerslag langs de zuidoostkust. Dit is kenmerkend voor het GrIS winterneerslagpatroon.

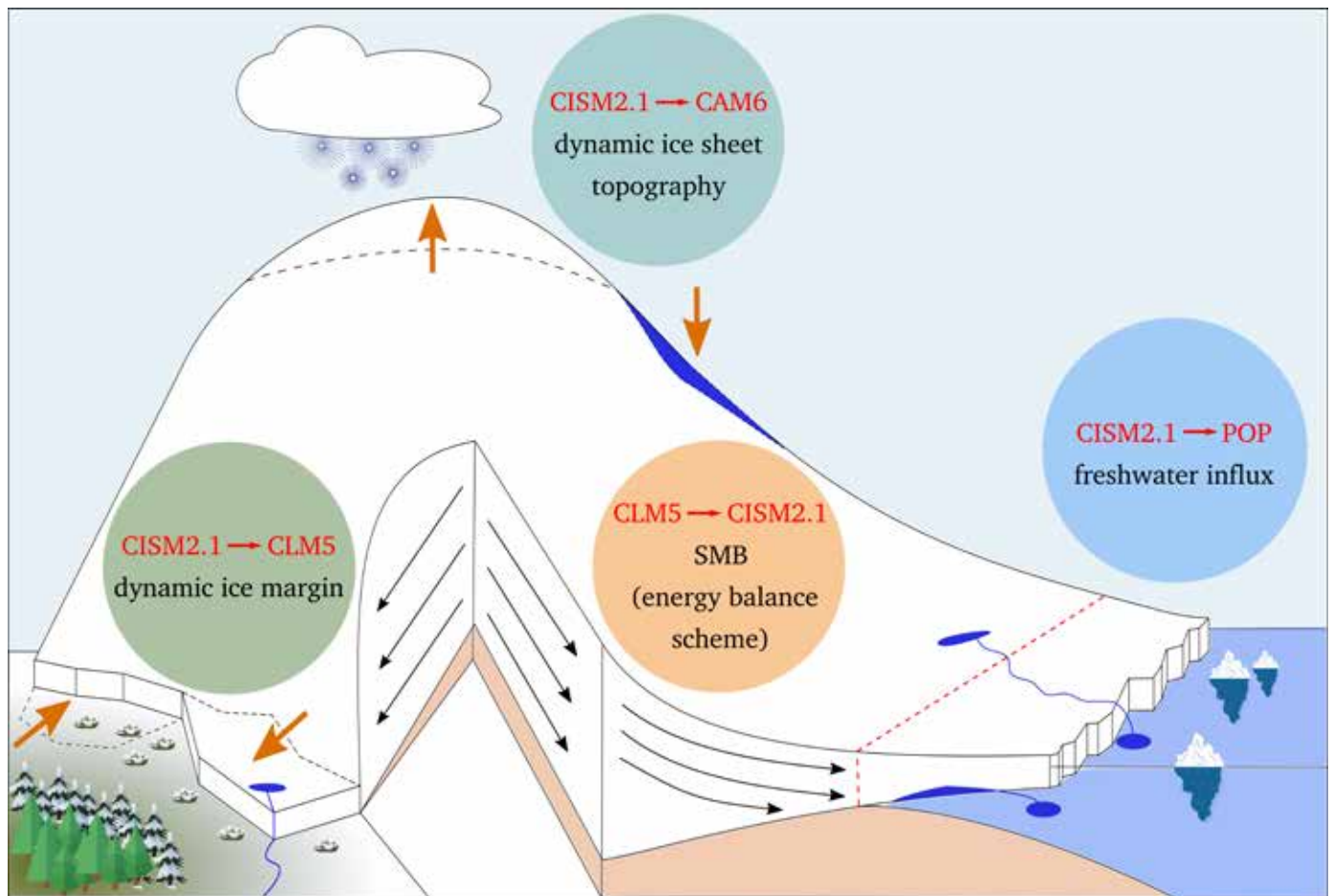
In de zomer valt er meer neerslag op de westflank van de GrIS en dieper landinwaarts. De neerslagvariabiliteit van de GrIS is bovendien gekoppeld aan de fase van de Noord-Atlantische Oscillatie (NAO; een index van het drukverschil tussen het lagedrukgebied boven IJsland en het hogedrukgebied bij de Azoren), met de fase van de Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) en met de Greenland Blocking Index (GBI).

Modelleren van aardsysteem-ijskap interacties

Ijskapmodellen en klimaatmodellen zijn belangrijke wetenschappelijke instrumenten om de toekomstige GrIS bijdrage aan de zeespiegelstijging in te schatten. Hier hebben we gebruik gemaakt van het Community Earth System Model versie 2 (CESM2) en het Community Ice Sheet Model versie 2 (CISM2) (Figuur 2). CESM2 is een state-of-the-art aardsysteemmodel dat bestaat uit atmosfeer-, land-, oceaan-, zee-ijs- en ijskapmodules, en wordt onderhouden door NCAR. CISM2 is een ijskapmodel dat een hogere-orde benadering van de Stokes-vergelijkingen



Figuur 1. Massaverlies Groenlandse Ijskap zoals gemeten door de GRACE-satellieten (2002 – 2017) en GRACE Follow-On (sinds 2018). Oranje en rode tinten geven gebieden aan die ijsmassa hebben verloren, terwijl lichtblauwe tinten gebieden aangeven die ijsmassa hebben gewonnen (in meter water equivalent). In de witte gebieden is de ijsmassa sinds 2002 niet of nauwelijks veranderd. Grijze lijnen zijn gemiddelde stroomlijnen die zijn gemaakt op basis van satellietradar-interferometrie. Bron: F.W. Landerer en M. Jentoft-Nilsen, NASA/JPL Caltech, 2021, <https://svs.gsfc.nasa.gov/31156>.



Figuur 2. Schematische weergave van de vier elementen van modelkoppeling tussen ijskappen en andere componenten van het aardsysteem in CESM2-CISM2. Met dank aan M. Petrini.

gebruikt om ijsstroming en interne temperaturen van dynamisch evoluerende ijskappen te berekenen.

Modelstudie – projectie van het GrIS massaverlies in de 21^e eeuw

In deze studie zijn twee simulaties geanalyseerd: de historische simulatie tussen 1850 – 2014, en de voortzetting ervan tot 2100 volgens het SSP5-8.5 scenario. De historische forcing is gebaseerd op waarnemingen van broeikasgasconcentraties, stratosferische aerosolen (vulkanen), verandering in landgebruik en zonnestraling. De pre-industriële (1850 CE) CO₂-concentratie is 287 ppmv en stijgt tot 397 ppmv in het jaar 2014.

Het SSP5-8.5 CMIP6 scenario, ook wel bekend als het 'worst-case'-scenario, begint in 2015 vanaf het einde van de historische periode en eindigt in het jaar 2100 met een atmosferische CO₂-concentratie van 1142 ppmv. Dit betekent dat de CO₂-concentratie met ongeveer 1% per jaar toeneemt (Figuur 3a). Dit scenario geeft een totale antropogene stralingsforcing van +8.5 W/m² in het jaar 2100 ten opzichte van de pre-industriële situatie.

Resultaten – mondiaal

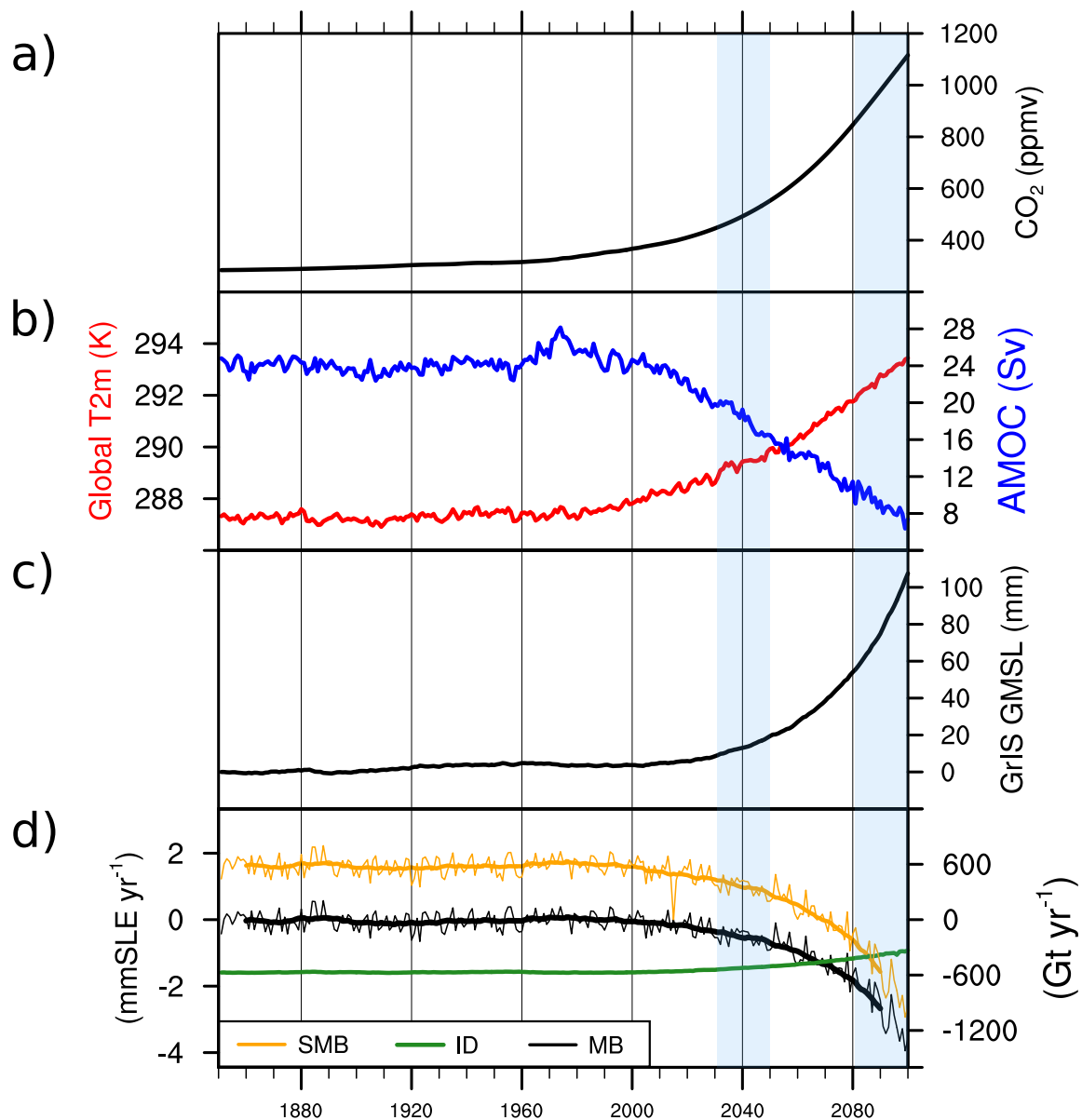
De wereldgemiddelde temperatuur is in de eerste twee decennia van de 21e eeuw aanzienlijk gestegen ten opzichte van het pre-industriële tijdperk (Figuur 3b). In de simulaties zien we dat de Noord-Atlantische tak van de Golfstroom (NAMOC) gedurende de historische periode relatief stabiel blijft (Figuur 3b). De NAMOC wordt

gedurende de 21^e eeuw echter steeds zwakker en valt tegen het einde van de eeuw zo goed als stil. De hypothese dat smeltwater van Groenland het verzwakken van de NAMOC veroorzaakt zien wij niet bevestigd in onze resultaten. De verandering in de totale GrIS-zoetwaterfluxen is tegen het midden van de eeuw namelijk nog relatief beperkt (Figuur 3d). Tegen die tijd is de NAMOC-index met 6 Sv afgenomen, wat suggereert dat zoetwaterstromen uit Groenland hoogstens een kleine rol spelen bij het afzwakken van de NAMOC.

De klimaatopwarming in deze simulatie resulteert in een positieve GrIS-bijdrage aan het mondiale zeespiegelniveau (Figuur 3c). We zien een versnelling van 0.08 mm SLE/jaar in de huidige periode naar 0.55 mm SLE/jaar tegen het midden van de eeuw, tot 2.68 mm SLE/jaar tegen het einde van de eeuw. Deze simulaties van massaverlies zijn aanzienlijk conservatiever dan de eerder besproken GRACE-waarnemingen van 0.72 mm/SLE (2002 - 2020). Dit kunnen we terugleiden naar een overschatting in ons model van de beginwaarden van de ijskapdikte en -oppervlakte, waardoor deze trager reageert dan in de realiteit.

Resultaten – Groenland

De oppervlaktemassabalans (SMB; zie Kader 1) levert de belangrijkste bijdrage aan de verandering van het GrIS-massabudget (de oranjegele curve in Figuur 3d). Halverwege de eeuw is de totale SMB van GrIS significant aan het dalen maar nog steeds positief, wat betekent dat



Figuur 3. De door CESM2-CISM2 gemodelleerde evolutie voor de periode 1850 – 2100 van: (a) atmosferische CO_2 -concentratie (ppmv); (b) wereldgemiddelde temperatuur (K) en NAMOC-index (Sv); (c) cumulatieve bijdrage van Groenland aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging (mm SLE); en (d) jaarlijkse MB-bijdrage aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging inclusief de componenten (SMB, afkalving/ID) (Gt yr^{-1} , linker-as: mm yr^{-1}). De blauw gearceerde gebieden duiden het midden van de eeuw (2031 – 2050, links) en het einde van de eeuw (2081 – 2100, rechts).

Kader 1 – De massabalans van een ijskap

Een ijskap is een continentale massa gletsjerijs die is ontstaan uit sneeuw, die onder zijn eigen gewicht is samengeperst. Het ijs van een ijskap stroomt onder de invloed van de zwaartekracht vanuit het hogere centrale deel naar de rand. Ijs deformeert net als een stroperige vloeistof, waarbij de viscositeit niet-lineair afhankelijk is van de ijstemperatuur.

Meerdere processen bepalen de massabalans (MB) van de ijskap. Deze omvatten het dynamisch gedrag van de ijskap, interacties met de atmosfeer, de oceaan en het landoppervlak en terugkoppelingsmechanismen van het ijskap-klimaatstelsel.

Aan de oppervlakte wint de ijskap massa door neerslag en verliest massa via afvloeiing van smeltwater en door sublimatie. Dit wordt de oppervlaktemassabalans (surface mass balance; SMB) genoemd. De evenwichtslijn scheidt de accumulatiezone (jaarlijkse $\text{SMB} > 0$) van de ablatiezone (jaarlijkse $\text{SMB} < 0$).

De onderzijde van een ijskap kan ofwel vast bevroren zijn aan het gesteente eronder, of op smeltpunt zijn gekomen door wrijvingswarmte of geothermische warmteafgifte. Het smeltwater dat in het laatste geval ontstaat (basal melt) vergemakkelijkt hoe de ijskap over de bodem schuift. De massabalans van het water onder de ijskap en het herbevroren ervan is de basale massabalans (BMB). In Groenland is dit slechts een klein deel van de totale massabalans.

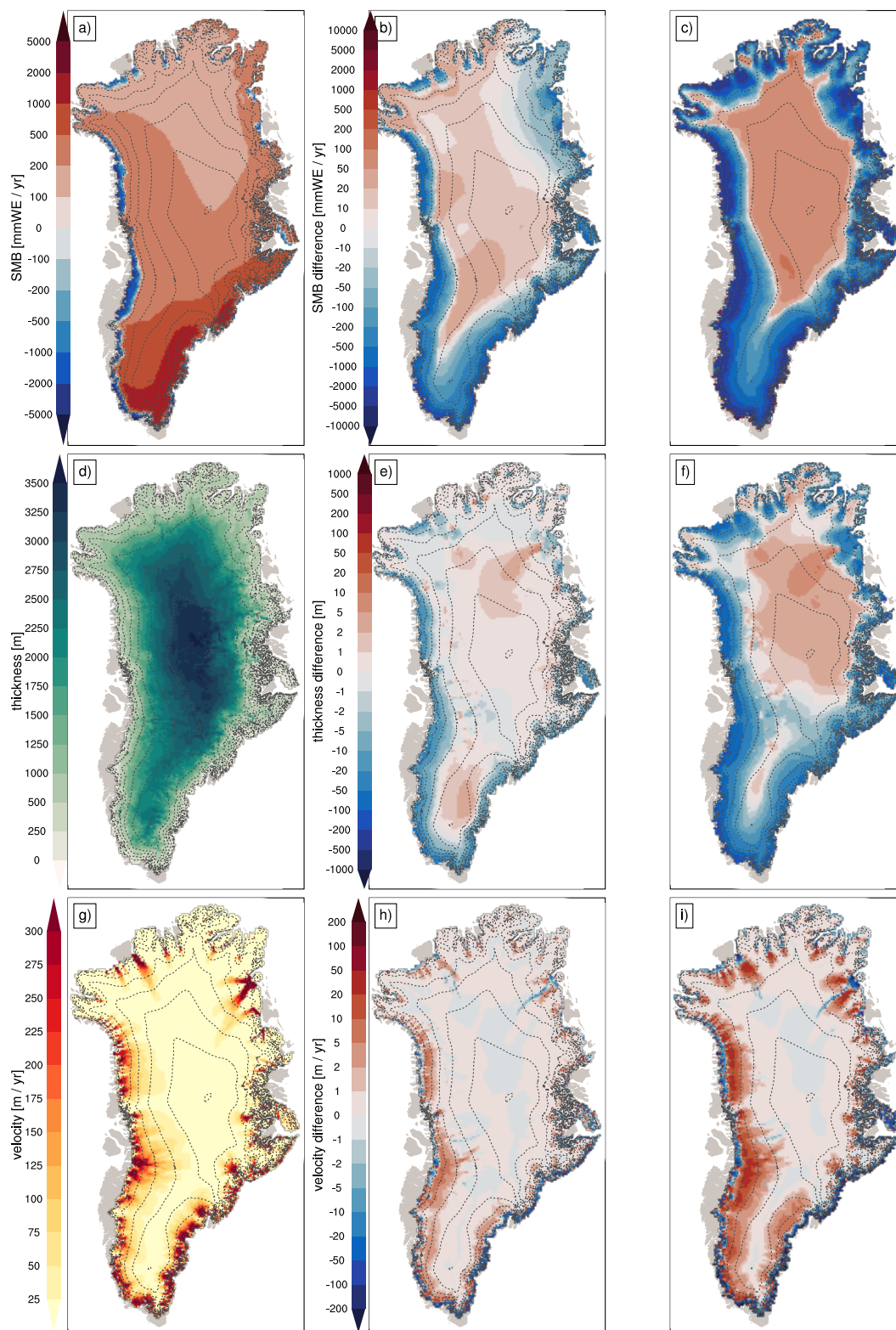
Afkalving aan de randen van de ijskap zorgt ook voor massaverlies (ice discharge; ID). De hoeveelheid afkalving is onder andere gerelateerd aan de stroomsnelheid van het ijs aan de rand, en aan de horizontale gradiënt van de ijsdikte.

De MB van een ijskap is de som van de SMB en de BMB, minus ID: $\text{MB} = \text{SMB} + \text{BMB} - \text{ID}$. Als de massabalans negatief is, verliest de ijskap massa waardoor hij bijdraagt aan de mondiale zeespiegelstijging.

het oppervlak nog altijd meer massa wint (neerslag) dan dat er door afsmelting wordt verloren. De SMB van GrIS wordt negatief in het jaar 2077, wat betekent dat de ijskap zowel aan het oppervlak als aan de randen (afkalving van ijsbergen) netto massa verliest.

Om in meer detail te beoordelen wat er met de GrIS gebeurt, en hoe de versnelling in zeespiegelbijdrage tot stand komt, bestuderen we de 2D-kaarten van SMB, ijs-

dikte en ijsstromingssnelheid (Figuur 4). In eerste instantie breiden de ablatiegebieden (gebieden met $SMB < 0$) zich vooral in het zuiden van Groenland uit (Figuren 4a-c). Tegen het einde van de eeuw strekken de ablatiegebieden zich over de hele ijskap ver landinwaarts uit, ook in de meest noordelijke delen. De noordelijke regio's reageren echter later dan de zuidelijke regio's. Dit heeft vermoedelijk te maken met een combinatie van lagere tempera-

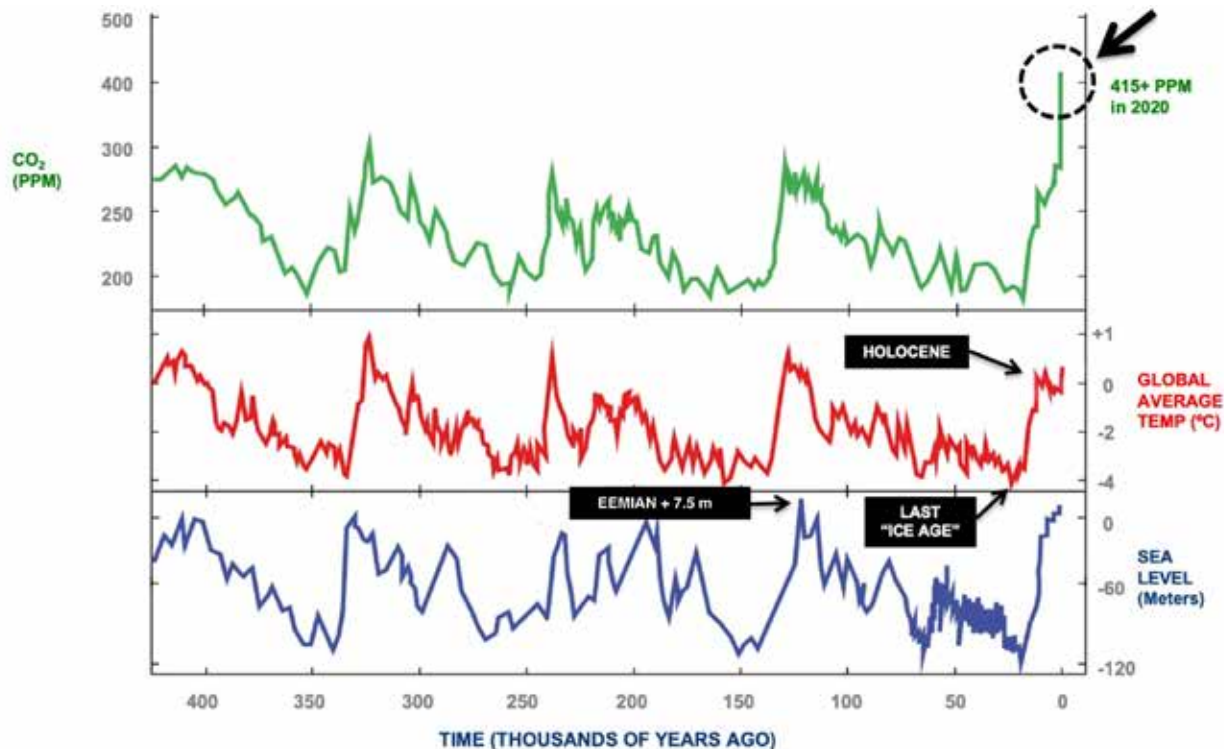


Figuur 4. Links: voor de hedendaagse periode 1995 – 2014 de oppervlaktemassabalans (SMB; $\text{kg m}^{-2} \text{yr}^{-1}$), ijsdikte (m) en oppervlakte-ijsstroomsnelheid (m yr^{-1}). De middelste en rechter panelen geven dezelfde variabelen maar dan als verandering ten opzichte van de hedendaagse periode: 2041 – 2060 (midden) en 2081 – 2100 (rechts).

turen, het vlakke landschap en minder neerslag in het noorden van Groenland. Dieper landinwaarts is te zien dat de SMB zelfs een beetje toeneemt: warmere lucht kan meer waterdamp bevatten, en kan dit bovendien verder landinwaarts transporteren voordat deze uitsneeuwt.

Een belangrijk positief terugkoppelingsmechanisme is de ijs-albedo feedback. Dit proces relateert een verandering in de oppervlaktereflectiviteit (albedo) aan veran-

deringen in afsmelting. Smeltende sneeuw bevat meer vloeibaar water dan droge sneeuw, en is daardoor donkerder. Smelt verlaagt dus de reflectiviteit van de sneeuw waardoor meer zonnestraling wordt geabsorbeerd. Met de toename aan geabsorbeerde straling is vervolgens meer energie beschikbaar voor verdere afsmelting. Kortom: smelt verlaagt de albedo, wat weer leidt tot meer afsmelting.



Figuur 5. Atmosferische CO₂-concentratie (ppmv), mondiaal gemiddelde temperatuur (°C) en zeeniveau (m). Bronnen: John Englander, op basis van Hansen en Sato (2012) met atmosferische koolstofdioxidegegevens uit Lüthi et al. (2008), en zeespiegelreconstructiegegevens uit Bintanja et al. (2005).

Kader 2 – Ijskapedrag op geologische tijdschalen

De aarde heeft vele cycli van ijskaptoename en -afname gekend, en de zeespiegel is overeenkomstig gedaald en gestegen. De periodiciteit van ijstijden is gekoppeld aan wat bekend staat als de Milankovic-cycli. Deze beschrijven het cyclische gedrag van veranderingen in de zonnekracht als gevolg van veranderingen in de baan van de aarde en veranderingen in de kanteling van de aardas. Gedurende de laatste 800 ka (1 kiloannum = 1000 jaar) werd het klimaat gekarakteriseerd door ijstijden afgewisseld met interglaciale perioden, met een periodiciteit van 100 ka (Figuur 5). Het boren van ijskernen in de huidige ijskappen en het analyseren van lucht die in ingesloten luchtbelletjes is bewaard, levert nauwkeurige informatie op over onder meer de atmosferische CO₂-concentratie en temperatuur.

Diepe oceaantemperaturen kunnen worden afgeleid uit de verhouding van zuurstofisotopen (delta¹⁸O-ratio) in oceaansedimenten. Ze worden gebruikt om de mondiaal-gemiddelde oppervlaktetemperatuurveranderingen te schatten. De veranderingen in het zeeniveau kunnen worden gereconstrueerd door verschillende paleorecords te combineren met ijskapmodellen. Dit levert een lineair verband op tussen de wereldgemiddelde temperatuurverandering en de wereldgemiddelde zeeniveauverandering van ongeveer 20 meter zeespiegelverandering voor elke

graad temperatuurverandering.

Het huidige interglaciaal, het Holoceen, begon zo'n 11.6 ka jaar geleden. In de vorige ijstijd gedurende het LGM (Last Glacial Maximum) 26 – 18 ka geleden, waren grote delen van met name het noordelijk halfrond bedekt met landijs. Dit omvatte ijskappen in Noord-Amerika, Groot-Brittannië, Fenno-Scandinavië, Siberië en Patagonië. In het LGM lag de wereldgemiddelde temperatuur ongeveer 5 graden lager dan nu, en was het wereldgemiddelde zeeniveau ongeveer 120 m lager.

De industriële revolutie, halverwege de 19^e eeuw, markeerde het moment waarop menselijke activiteiten een aanzienlijke impact op de planeet begonnen te krijgen. Het toenemende gebruik van fossiele brandstoffen resulteerde in een sterke toename van CO₂-uitstoot.

Projecties van het IPCC voor komende eeuw zijn ongeveer 1 m zeespiegelstijging en 1.5 tot 4 graden opwarming in 2100 ten opzichte van 1850. Deze toename ligt ver buiten de bovengenoemde paleo-empirische verhouding van ongeveer 20 meter zeespiegelverandering voor elke temperatuurverandering van 1 graad. Dit komt door de verschillende componenten van het aardsysteem en de verschillende tijdschalen, waarin het langzaamste proces bepaalt hoelang het duurt om een nieuw systeem-evenwicht te bereiken.

De dikte van de ijskap verandert als gevolg van veranderingen in de SMB (Figuren 4d-f). De ijskap wordt dunner in de ablatiegebieden – voornamelijk in het zuiden en/of beneden 2000 m hoogte. De snelheid waarmee ijs stroomt wordt voor een groot deel bepaald door de horizontale gradiënt in ijsdikte. Met de veranderende hoogteprofielen verandert dus de ijsstroming tijdens de simulatie: oppervlaktesnelheden nemen toe gedurende de 21e eeuw in de gebieden tussen het hoge binnenland en de ijskapranden (Figuren 4h-i). Omgekeerd nemen de oppervlaktesnelheden aan de randen af, doordat daar het ijs dunner wordt en ook doordat de ijskapranden zich terugtrekken. Het gevolg hiervan is dat afkalving (van ijsbergen) afneemt.

De veranderingen in geometrie en stroomsnelheden compenseren echter slechts ten dele het sterk toegenomen oppervlaktemassaverlies. Deze simulatie laat zien dat het positieve terugkoppelingsmechanisme tussen SMB en albedo een belangrijke rol speelt in de versnelling van het massaverlies van de GrIS.

Discussie

De simulatie begint met een GrIS die 12% in volume en 15% in oppervlakte te groot is ten opzichte van de huidige waarden. De initialisatiebias wordt veroorzaakt door de spin-up van het gekoppelde (klimaat – ijskap) model. Het nadeel van gekoppelde spin-ups is een minder realistische begintoestand dan bij data-assimilatietechnieken, maar het belangrijkste voordeel is dat de begintoestand in evenwicht is. Afwijkingen in de begintoestand hebben echter invloed op de gevoeligheid van het model voor klimaatverandering, zoals blijkt uit eerder onderzoek met ijskapmodellen (Goelzer et al., 2018).

Onzekerheden in het gesimuleerde klimaat, met name SMB, hebben een groot effect op zeespiegelprojecties. In vergelijking met andere modellen overschat CESM2-CISM2 de SMB van GrIS. Van Kampenhout et al. (2020) laten zien dat CESM2 zonder interactieve GrIS het Groenlandse klimaat redelijk goed simuleert in termen van

grootschalige weersystemen, wolkeneigenschappen, SMB en de oppervlakte-energiebalans, maar dat SMB wordt overschat in vergelijking met het regionale klimaatmodel RACMO, wat te wijten is aan de overschatting van de neerslag in CESM2 in Groenland. Muntjewerf et al. (2020) concluderen bovendien dat het hier gebruikte model (CESM2-CISM2) een hogere huidige SMB simuleert vergeleken met CESM2 zonder interactieve GrIS.

Vanwege deze twee punten kunnen we concluderen dat de GrIS in het gekoppelde model waarschijnlijk vertraagd reageert op klimaatverandering, vooral als gevolg van overschatting van de initiële dikte en oppervlakte van de ijskap. Daardoor is de zeespiegelstijgingprojectie waarschijnlijk aan de conservatieve kant.

Nawoord

Dit artikel is gebaseerd op het proefschrift *Evolution of the Greenland Ice Sheet with the Global Climate as modelled with CESM2-CISM2*, verdedigd op maandag 15 november 2021 door Laura Muntjewerf aan de Technische Universiteit Delft. Een digitale versie van het proefschrift is te vinden op: doi.org/10.4233/uuid:34d6b261-5a55-45f6-8103-1d900cc98dc9.

Referenties

- Bintanja, R., Van De Wal, R. S., & Oerlemans, J. (2005). Modelled atmospheric temperatures and global sea levels over the past million years. *Nature*, 437(7055), 125-128.
- Goelzer, H., et al. (2018). Design and results of the ice sheet model initialisation experiments initMIP-Greenland: an ISMIP6 intercomparison. *The Cryosphere*, 12(4), 1433-1460.
- Hansen, J. E., & Sato, M. (2012). Paleoclimate implications for human-made climate change. In *Climate change* (pp. 21-47). Springer, Vienna.
- Lüthi, D., et al. (2008). Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., ... & Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, 453(7193), 379-382.
- Muntjewerf, L., et al. (2020). Greenland Ice Sheet contribution to 21st century sea level rise as simulated by the coupled CESM2. 1-CISM2. 1. *Geophysical Research Letters*, 47(9), e2019GL086836.
- Van den Broeke, M. R., et al. (2016). On the recent contribution of the Greenland ice sheet to sea level change. *The Cryosphere*, 10(5), 1933-1946.
- Van Kampenhout, L., et al. (2020). Present-day Greenland ice sheet climate and surface mass balance in CESM2. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(2), e2019JF005318.

Contact: laura.muntjewerf@knmi.nl

De NVBM-scriptieprijs

Bestuur NVBM

De NVBM-scriptieprijs is een nieuw initiatief van de Nederlandse Vereniging ter Bevordering van de Meteorologie. Het doel van deze prijs is om bredere bekendheid te geven aan hoogwaardig atmosferisch (meteorologie en klimaat) onderzoek uitgevoerd door MSc studenten in Nederland. Verder hopen we hiermee meer naamsbekendheid voor de NVBM te genereren onder studenten meteorologie en klimatologie.

De wedstrijd staat open voor MSc scripties voltooid aan een Nederlandse universiteit waarvan de afstudeerscriptie handelt over een onderwerp met een directe relatie tot de meteorologie of fysische klimaatwetenschappen. Een afstudeerscriptie kan slechts één keer worden ingediend, namelijk in het jaar dat deze voltooid is.

Het bestuur zal jaarlijks een onafhankelijke jury benoemen, bestaande uit NVBM leden met verschillende pro-

fessionele achtergrond, die de ingezonden scripties en motivatiebrieven zullen beoordelen. De beoordelingscriteria zijn inhoudelijke kwaliteit (bijvoorbeeld originaliteit, wetenschappelijke vernieuwing en maatschappelijke relevantie) en technische uitvoering (bijvoorbeeld presentatie, vormgeving en helder taalgebruik).

Elk jaar zal de winnende scriptie beloond worden met een oorkonde, één jaar gratis lidmaatschap van de NVBM, en zal de winnaar de gelegenheid geboden worden om een artikel over de scriptie in *Meteorologica* te publiceren. Verder is voor de winnaar een geldbedrag van €250,- beschikbaar. De scriptieprijs 2022 zal tijdens het NVBM najaarssymposium worden uitgereikt.

Ruimteweer: een 'nieuw' onderzoeksveld

Bert van den Oord (KNMI)

Ruimteweer (space weather) is een onderzoeksthema waarvoor de belangstelling de laatste twintig jaar enorm is toegenomen. Het weer op aarde wordt bepaald door de veranderende fysische toestand van de onderste lagen van de atmosfeer. Bij ruimteweer ligt de focus echter op de buitenste lagen van de atmosfeer, meer specifiek de magnetosfeer, de ionosfeer en de thermosfeer, en hun interactie met de zonnewind en effecten van zonnevlammen. Ruimteweer kan onze moderne technologie ernstig verstoren en leiden tot economische schade, maatschappelijke ontwrichting en mogelijk zelfs slachtoffers. Nederland heeft zich, net als andere landen, voorbereid en het KNMI gaat in de toekomst, naast het bekende weeralarm, ook een ruimteweeralarm uitgeven voor vitale en gevoelige sectoren (energievoorziening, transport, telecommunicatie, watermanagement, betalings- en effectenverkeer).

De fysica achter ruimteweer

Ruimteweer wordt veroorzaakt door variaties in het magnetisch veld van de Zon. Iedere elf jaar wisselen de noord- en zuidpool van het grootschalige magnetisch veld van de Zon. Dit verschijnsel is een indicatie dat er binnenin de Zon een krachtige dynamo actief is. Vergeleken met de typische tijdschaal voor het ompolen van het aardmagnetisch veld (tussen de honderdduizend en een paar miljoen jaar) verloopt dit energetische proces op de Zon ongekend snel en op een enorme schaal.

Gedurende de opbouwfase van de cyclus neemt de sterkte van het magnetisch veld aan het zonsoppervlak toe en daarmee ook het aantal actieve gebieden met zonnevlekken. Dit zijn de zichtbare manifestaties van sterke magnetisch veldconcentraties (0.3 Tesla) aan het zonsoppervlak. De zonnevlekken in deze actieve gebieden zijn donkerder dan hun omgeving omdat het sterke magnetisch veld energietransport verhindert. Boven het zichtbare oppervlak van de Zon strekt de corona zich uit. Deze bestaat uit magnetische lussen met een temperatuur van enkele miljoenen graden die de Zon een fascinerend uiterlijk geven in röntgenstraling. De hoge temperatuur van deze lussen wordt veroorzaakt door een balans tussen magnetische energievrijmaking en stralingsverliezen in het röntgen en (extreem) ultraviolet. De magnetische lussen die we op de Zon zien in röntgenstraling hebben typische lengtes van 100.000 km, diameters van 1000 km tot 10.000 km en veldsterkten van 0.01 Tesla (ter vergelijking: het magnetisch veld van de Aarde heeft een sterkte van 0.00005 Tesla). De magnetische energie die in een dergelijke lus is opgeslagen is ongeveer 10^{23} Joule en de typische stroom-

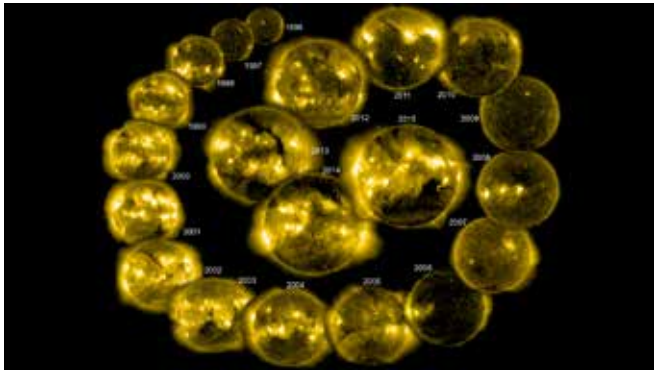
sterkte 10^{11} Ampère.

Naast deze lussen bevinden zich in de corona ook coronale gaten waar het magnetisch veld niet gesloten is en waaruit een snelle zonnewind (700 – 900 km/s) de Zon verlaat. Ook vanuit gebieden met gesloten magnetische velden kan een zonnewind ontstaan. Deze wind heeft een drie keer hogere dichtheid en is langzamer (300 km/s). Het plasma in beide soorten zonnewinden stroomt radiaal uit en sleept de magnetische veldlijnen mee. De basis van dit magnetisch veld is verbonden aan de roterende Zon zodat het magnetisch veld wordt opgewonden en een spiraalvorm krijgt (vergelijkbaar met een roterende tuinsproeier). Het verhaal wordt nog complexer door interacties tussen de snelle en langzame zonnewind waardoor schokken ontstaan in de interplanetaire ruimte tussen de Zon en de Aarde. Deze verstoringen maken het moeilijk om met modelberekeningen exact te bepalen wanneer en of een verstoring de Aarde zal bereiken.

Vooraf na het bereiken van het maximum van de zonnecyclus, maar ook tijdens de opbouwfase, wordt het aan het zonsoppervlak opgebouwde magnetisch veld weer 'afgebroken'. Dit gebeurt in een proces genaamd magnetische reconnectie, een diffusieproces waarbij de magnetische energie wordt omgezet in verhitte plasma (10^7 K), versnelling van protonen (10-100 MeV) en elektronen (> 2 MeV), plasmaturbulentie en coherente emissie op radiofrequenties tussen 300 en 3000 MHz. Een eigenschap van reconnectie is dat dit proces leidt tot het herverbinden van magnetische structuren met tegengestelde magnetische polariteit waardoor topologische veranderingen optreden. Delen van het magnetisch veld kunnen als het ware



Figuur 1. a) Een CME-eruptie waargenomen met NASA's Solar Dynamics Observatory (SDO) op 31 Augustus 2012 bij verschillende golflengten (335, 171, 131 en 304 Ångström) (bron: NASA/SDO/AIA/GSFC). b) De CME ging langs de aarde maar had wel interactie met het aardmagnetisch veld resulterend in een prachtige aurora op 3 september (foto: David Cartier).



Figuur 2. De Zon in röntgen van 1996 tot 2015 (bron: NOAA). Voor een video van de zon tussen 2010 en 2020 met een tijdsresolutie van 1 uur zie www.youtube.com/watch?v=l3QQQu7QLoM.

worden afgesnoerd en de Zon verlaten in de vorm van een Coronal Mass Ejection (CME). Bij een CME verlaat een massa van 10^{12-14} kg met een snelheid van honderden km/s de Zon, wat een forse verstoring in de reguliere zonnwind veroorzaakt. Een CME is een extreme vorm van een zonnevlam die leidt tot een grootschalige interplanetaire verstoring.

Magnetische energievrijmaking treedt dus op over een groot energiebereik. Op het laagste niveau is er de rustige verhitting van het coronale plasma tot enkele miljoenen Kelvin door dissipatie van magnetohydrodynamische golven of Ohmse dissipatie waarbij er wel sprake moet zijn van anomale resistiviteit. Aan de andere kant van het energetisch spectrum bevinden zich de eerdergenoemde zonnevlammen, explosieve vrijmakingen van magnetische energie door magnetische reconnectie. Hierbij nemen de röntgen- en extreem ultravioletstraling (EUV) toe, worden deeltjes versneld tot relativistische energieën door schokken of turbulentie en ontstaat incidenteel een CME. De energie die vrijkomt bij een zonnevlam varieert tussen 1022 Joule en 1026 Joule op tijdschalen van minuten tot uren. Ter vergelijking: de jaarlijkse energieconsumptie van Nederland is 1018-19 Joule.

De effecten van ruimteweer

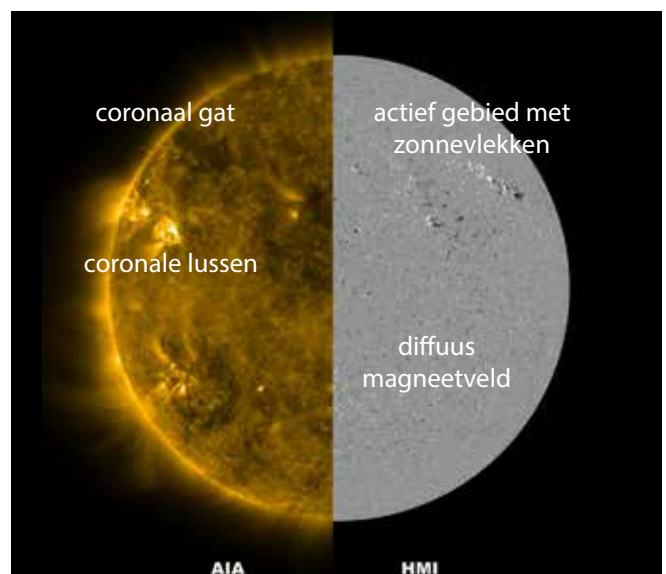
Er zijn verschillende dreigingen vanuit de ruimte. Behalve oude satellieten en ander ruimteafval die kunnen terugvallen op Aarde, moeten ook near Near Earth Objects (NEO, asteroïden nabij de Aarde) gedetecteerd en gevolgd worden. Ruimteweer vervolledigt naast deze twee takken het gebied van Space Situational Awareness (SSA). Uniek voor ruimteweer is dat het met name een elektromagnetisch risico vormt met mogelijk zeer ernstige gevolgen door het toenemende gebruik van elektrotechniek en elektronica.

Allereerst is er de kwetsbaarheid van satellieten die zich buiten het beschermende magneetveld van de Aarde bevinden. Deze kunnen geraakt worden door energetische deeltjes die de elektronica beschadigen. Daarnaast kan ook de degradatie van zonnepanelen worden versneld. De energetische deeltjes vormen ook een risico voor astronauten, niet alleen in het International Space Station maar ook bij toekomstige bemande missies naar de Maan en Mars.

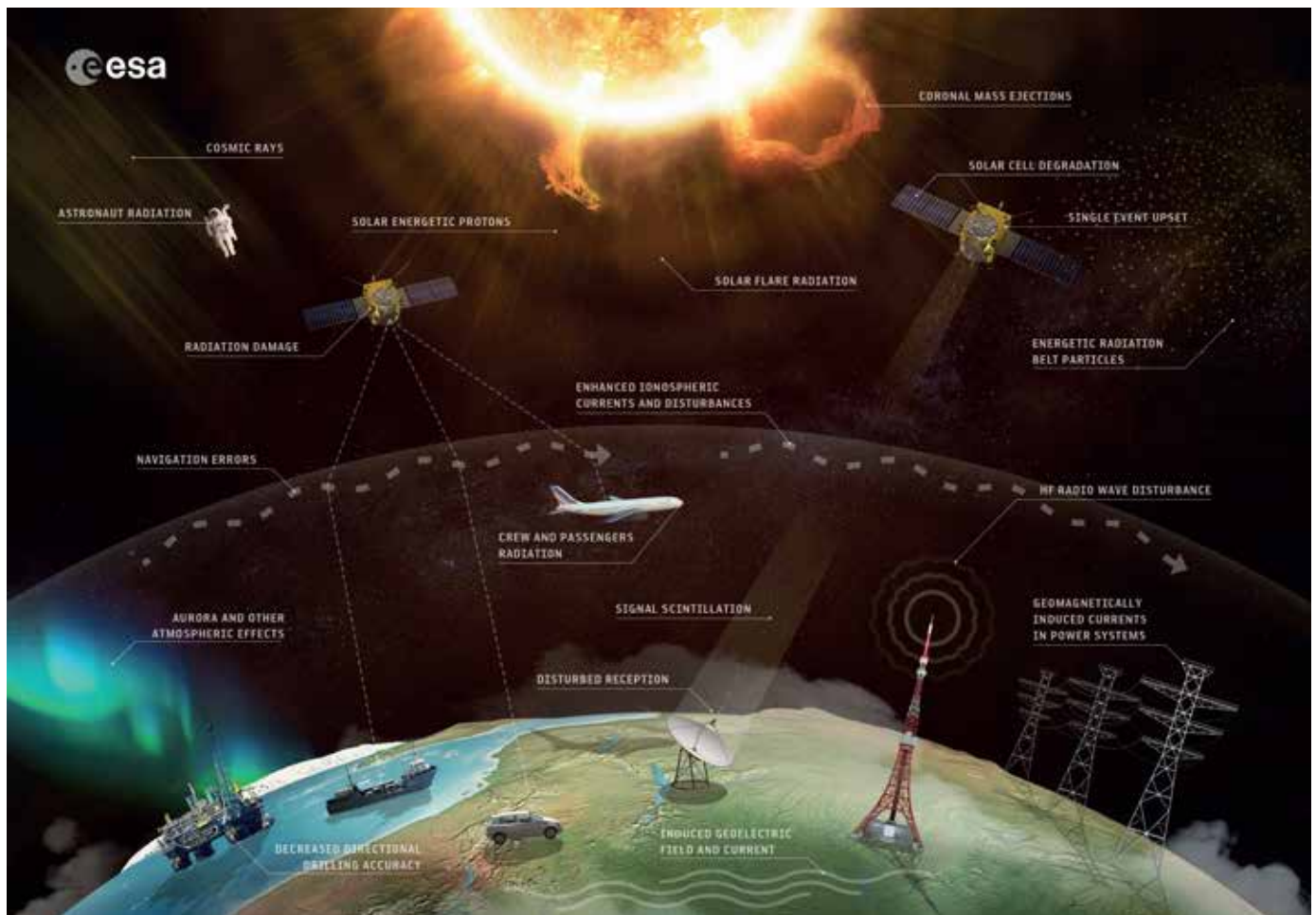
Een tweede belangrijk effect wordt veroorzaakt door de sterke röntgen- en EUV-straling tijdens zonnevlammen. Zoals de ozonlaag de mens beschermt tegen UV-straling,

beschermt de ionosfeer de Aarde tegen de röntgenstraling van zonnevlammen. Het gedrag van de ionosfeer is zeer complex met zowel een dag- en nachtcyclus als een afhankelijkheid van de breedtegraad. Tijdens zonnevlammen wordt de ionosfeer turbulent en verandert de ionisatiegraad waardoor radiocommunicatie (satelliet- en radiocommunicatie) op bepaalde frequenties ernstig verstoord of zelfs tijdelijk onmogelijk wordt. Door turbulentie in de ionosfeer kan ook de plaats- en tijdsbepaling van navigatiesatellietdiensten (GPS, GALILEO) onnauwkeuriger worden of wegvallen. Daarnaast wordt er tegenwoordig veel gebruik gemaakt van de tijdcode van satellietdiensten omdat deze veel goedkoper zijn dan het onderhouden van een eigen (nationale) atoomklok. Nieuwe diensten zoals GALILEO zijn een speerpunt van de Europese commissie met een groot belang voor een breed publiek, maar daarmee worden wel nieuwe kwetsbaarheden geïntroduceerd. De röntgenstraling van zonnevlammen leidt tevens tot het uitzetten van de aardse atmosfeer waardoor de weerstand en daarmee ook het afremmen van satellieten toeneemt. Tijdens zonnevlammen wordt plasmaturbulentie opgewekt die aanleiding geeft tot coherente radiostraling in het 300 – 3000 MHz frequentiegebied. Deze zogenaamde Solar Radio Bursts (SRB) kunnen uitermate verstorend zijn voor gevoelige antenne- en radarsystemen. In opdracht van het Ministerie van Defensie, met begeleiding van het KNMI, zijn ASTRON en S[&]T een volledig automatische SRB-detector aan het ontwikkelen, genaamd DISTURB, om tijdig SRB's te signaleren.

De interactie tussen de magneetvelden in de zonnwind en van de Aarde is zeer bepalend voor de koppelingen tussen de Zon en de Aarde. Afhankelijk van de oriëntatie van het magneetveld in de zonnwind kan dit leiden tot verstoringen in het aardse magneetveld in de vorm van een geomagnetische storm of een complex



Figuur 3. De linkerzijde toont de Zon bij 171 Angström (Fe IX). Coronaal gaten, coronale lussen en kleine zonnevlammetjes zijn zichtbaar. De rechterzijde is een magnetogram van het zichtbaar oppervlak van de Zon (vanuit witte gebieden is het magneetveld weg van de Zon gericht en in zwarte gebieden naar de Zon toe). De figuur toont een actief gebied met zonnevlekken. De Zon is daarnaast bedekt met kleine magnetische elementjes die de basis zijn van de diffuse structuur in de corona (bron: NASA).



Figuur 4. Overzicht van belangrijke sectoren die verstoord kunnen worden of schade ondervinden ten gevolge van ruimteweer (bron: ESA).

verstoring van de ionosfeer en magnetosfeer. Het grootste gevaar ontstaat als een CME de Aarde bereikt en geomagnetische verstoringen veroorzaakt. De geïnduceerde variaties in het magneetveld van de Aarde leiden tot elektrische stromen in de ionosfeer, die op hun beurt weer stromen in de aardkorst opwekken (geomagnetically induced currents, GIC's). Afhankelijk van het elektrisch geleidingsvermogen van de aardkorst kunnen deze stromen elektrische spanningen genereren in geleidende netwerken zoals het elektriciteitsnetwerk, pijplijnen en spoorwegnetwerken.

Weerbaarheid tegen ruimteweer

Omdat militaire technologie vaak voorloopt op civiele toepassingen, is het te begrijpen dat in de VS de 557th Weather Wing van de US Air Force na de Tweede Wereldoorlog één van de eerste ruimteweerdiensten oprichtte vanwege het belang van radars en radiocommunicatie. Vanaf 1962 begon een aantal landen samen te werken op het gebied van civiele ruimteweerdiensten in een verband genaamd de International Space Environment Service (ISES). In 2008 werd in de VS ook een civiele dienst opgericht, het Space Weather Prediction Center (SWPC) te Boulder. Deze dienst is inmiddels de wereldleider op het gebied van waarschuwingen voor verstoringen van ruimteweer. De relevantie van dit centrum is nog vergroot door de ontwikkeling van militaire en civiele (NASA) satellieten en bemande ruimtevaart.

Vanuit de wetenschap was er ook een toenemende belangstelling voor het zon-aarde systeem zoals het Living

with a Star (LWS) programma van NASA dat vanaf 2001 een aantal aansprekende satellietmissies heeft opgeleverd (Van Allen Probes, Solar Dynamics Observatory, Parker Solar Probe). In 1980 was het Laboratorium voor Ruimte Onderzoek in Utrecht onder leiding van professor de Jager één van de eerste instituten dat een instrument had ontwikkeld om zonnevlammen in röntgenstraling met ruimtelijke resolutie waar te nemen: het HXIS-instrument dat op de Solar Maximum Mission van NASA vloog. De processen die men toen observeerde, vormden de inspiratie voor een hele nieuwe generatie satellieten. Binnen Europa is ESA sinds 2006 actief met het ontwikkelen van een ruimteweerdienst en satellieten binnen het SSA-programma. Binnen dit kader zal de komende jaren een operationele satelliet in het vijfde Lagrange punt geplaatst worden om de zonneactiviteit te monitoren.

Ruimteweer in Nederland

In 2012 heeft het ministerie van Justitie en Veiligheid in een brief aan de Tweede Kamer aangegeven dat het uitvallen van satellieten door ruimteweer een risico is voor de Nederlandse vitale sectoren. Het KNMI heeft de taak gekregen om een ruimteweeralarmingsdienst (24 uur per dag, 7 dagen per week) op te zetten, het ruimteweeralarm, om het bewustzijn van vitale sectoren te vergroten en crisisplannen met terugvalopties te ontwikkelen. Het opzetten van een dergelijke dienst vereist activiteiten op alle niveaus: ruimteweer is op zich een globaal verschijnsel maar de verstoringen zijn sterk tijds- en plaatsafhan-

kelijk en de impact kan per land variëren afhankelijk van de gebruikte technologieën. Operationeel werkt het KNMI voor ruimteweer samen met het Met Office in het Verenigd Koninkrijk. Binnen Nederland is bij organisaties als de TU Delft, ASTRON, Agentschap Telecom en Fugro veel kennis op deelaspecten aanwezig, maar vooral in het buitenland dragen een groot aantal instituten en bedrijven bij aan ruimteweerdiensten zoals die van ESA. Mondiaal pakken organisaties als ICAO het thema op ten behoeve van veiligheid voor de civiele luchtvaart. Het KNMI is hierin ook actief in het globale waarschuwingencentrum PECASUS. Het ruimteweeralarm kan ruim op tijd worden afgegeven voor een CME en variaties in de zonnewind vanwege de langere reistijd (uren tot dagen). Voor andere effecten, zoals zonnevlammen, solar radio bursts en relativistische deeltjes, zit de meerwaarde in de duiding van het type gebeurtenis en het te verwachten verloop.

Conclusie

Space weather is een fascinerend onderwerp waarin vakgebieden als astrofysica en geofysica samenwerken vanuit een maatschappelijke relevantie, en waar een unieke koppeling optreedt tussen operationele toepassingen en wetenschappelijk onderzoek op het gebied van plasmafysica en magnetohydrodynamica. Uniek is ook de koppeling met de technologie van vitale sectoren. Mogelijk wordt

ruimteweer in de toekomst gelijkwaardig georganiseerd als de moderne meteorologie: lokale waarschuwingen voor globale verschijnselen waarbij internationaal wordt samengewerkt om zowel satelliet- als grondmetingen en modelresultaten snel beschikbaar te hebben.

Dankwoord

Dit artikel is gebaseerd op een artikel in het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde (NvTN) van dezelfde auteur: B. van den Oord, Ruimteweer – een ‘nieuw’ onderzoeksveld, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 88(2), 10-13, (2022), met toestemming van de redactie van NvTN, waarvoor dank.

Literatuur

1. Dolores Knipp, Understanding Space Weather and the Physics behind it.
2. https://www.esa.int/Safety_Security/Space_weather
3. <https://www.swpc.noaa.gov/>
4. <https://pecasus.eu/>
5. Royal Academy of Engineering, 2013, Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure, ISBN 1-903496-95-0, <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/space-weather-full-report>.
6. Schrijver, C.J. et al., Understanding space weather to shield society: a global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS.

Contact: bert.van.den.oord@knmi.nl



Wouter Bleeker steekt met ‘kop en schouders’ boven andere KNMI- meteorologen uit. Van links naar rechts: Cor Schuurmans (op dat moment persoonlijk assistent van hoofddirecteur Bleeker), Rienk Postma (directeur van de afdeling Weerdienst en Luchtvaartmeteorologie), dan met hoed Wouter Bleeker (hoofddirecteur van 1965 tot zijn overlijden in 1967, en in de tussentijd ook nog oprichter van het IMOU, later IMAU) en helemaal rechts Dick Timmerman (een ervaren weerkamermeteoroloog). Foto genomen tijdens een tweewekse conferentie in Wiesbaden (Duitsland) op een zondag in maart 1966. Zie de column op pagina 26 – 27.

De zaak Bleeker

Huug van den Dool

Ik ben van 1947, na “de” oorlog dus. Toch leeft de oorlog 1940 – 1945 ook in mij door, want in mijn kinderjaren werd zeer emotioneel over de oorlog gesproken, vooral als er na-tafelende bezoekers waren. Dan kwamen de ontberingen (honger, gebrek, angst), het gevaar (razzia’s, bombardementen, verraad, onderduiken) en de slachtoffers die mijn ouders betreurden weer naar boven. Mijn dorp deed bovendien aan het spel “goed en fout”. Ik hoorde van heel wat mensen die in de oorlog fout zouden zijn geweest, pro-Duits, farizeeër-NSB’ers, moffenmeiden, soms zelfs met kind. Ze werden vol leedvermaak nageroepen, tot jaren later. Overlevende goeden waren er nauwelijks, die waren dood; alleen de burgemeester had in het verzet gezeten, kende Prins Bernhard persoonlijk en was daardoor onaantastbaar. Stijf van eerbied stond ik als welp op 4 mei naast de burgemeester bij de dodenherdenking te salueren. Op deze wijze bleef een half ingebeelde versie van de oorlog heel lang doorleven, ook voor mij naoorlogse babyboomer. De woorden verzetsman, collaboratie en “de Joden” kregen een grote lading. In de nationale pers woeden tot op heden polemieken over het goed of fout zijn in de oorlog van een reeds lang overleden persoon. Voor- en tegenstanders sloegen elkaar jarenlang om de oren.

In 1965 kwam ik aan als student in Utrecht om meteoroloog te worden. Ik was een van de allereerste studenten die binnen wis- en natuurkunde meteorologie mocht gaan studeren, een wijziging in het academisch statuut krachtdadig bewerkstelligd door ene Bleeker, en niemand anders. Ik zou niet weten hoe ik bijvoorbeeld in 1960 meteorologie had moeten studeren. Voor studievoorlichting moest ik een afspraak maken met prof. dr. W. Bleeker, op het KNMI welteverstaan. Bleeker was een duwer en trekker pur sang, hij stak met kop en schouders boven alle anderen in ons vak uit, zowel organisatorisch als qua breedte van kennis, initiatieven en belangstelling (en ook letterlijk; hij was ruim 2 meter lang, zie foto op pagina 25). Als hij iets wilde was hij niet te stuiten; de bureaucratie, niet bepaald z’n vriend, veegde hij terzijde. Hij had een grote vakbekwaamheid en had vele vernieuwingen ingevoerd op het KNMI. Op de universiteit kreeg hij rond mijn jaar van aankomst een instituut georganiseerd, later IMOU en weer later IMAU genaamd. Ik wil niet zeggen dat hij mijn held was, daarvoor heb ik hem te kort gekend, maar veel scheelde het niet. Ik voelde mij nogal kleintjes in 1965, in het kantoor van Bleeker die toen ook nog eens net benoemd was tot hoofddirecteur van het KNMI. Later, toen ik mijn vleugels in het buitenland uitsloeg, werd ik door mensen van het kaliber Erik Palmén en Jerome Namias over de grote Bleeker aangesproken; het strekte mij tot onverdiende eer dat ik ooit met Bleeker van doen heb gehad. Bleeker was veeleisend, zowel voor zichzelf als voor anderen. Dat de dag slechts 24 uur had mocht niet als excuus worden gebruikt. Hijzelf combineerde een enorm enthousiasme met een onwaarschijnlijke werklust. Volgens de necrologie van Schmidt ‘toverde’ Bleeker met tijd.

In mijn voorkandidaatsjaren hoorde ik nooit roddels

over Bleeker. Opvallend, want roddelen is een populaire menselijke zwakheid. Dat er een ‘geheim’ was bleek pas later, toen ik op het IMOU begon te werken en in intensief contact kwam met Wim van Dijk (1921 – 1995) vanwege onze gemeenschappelijke interesse in de “Algemene Circulatie” van de atmosfeer. Van Dijk vertelde graag over vroeger. Soms zaten zijn verhalen vol klachten. Hij was een typische vertegenwoordiger van de generatie die als tiener/jongvolwassene broedend en gefrustreerd de oorlog was doorgekomen. Men kan er over lezen bij Mulisch, Van het Reve, en Hermans; de laatste was nota bene een goede bekende en studiegenoot van Van Dijk. Ik kreeg boeken te lezen van Van Dijk waarvan de teneur was dat nogal wat mensen die in de oorlog ‘niet goed’ waren na de oorlog alweer heel snel handig als goede vaderlanders aan de weg timmerden. Het grote voorbeeld in die categorie was Jan de Quay, die in de oorlog de Nederlandse Unie had opgericht, omdat er, de nieuwe realiteit aanvaardend, nu eenmaal met de Duitsers moest worden samengewerkt, vooral “om erger te voorkomen”. In 1959 werd de Quay minister-president alsof er niets aan de hand was; van Dijk ontplofte van woede als hij het over mensen als de Quay had.

Bleeker had een eigenaardige gewoonte. Hij omringde zich met medewerkers die hij persoonlijk in dienst nam; hij overrompelde de bureaucratie. Men denke aan Wouter Lablans, Paul de Bruijn en Wim van Dijk, maar de lijst is veel langer. De eerste twee werkten uitsluitend voor Bleeker en waren jarenlang niet eens aan een afdeling op het KNMI verbonden. Van Dijk had van ~1950 – 1955 op het KNMI gewerkt tot hij een avontuur ondernam bij MIT in de Verenigde Staten. Dat avontuur eindigde met een beroerte die niet 100% zou genezen. Bleeker was wel zo goed de semi-gerevalideerde Van Dijk van de straat te rapen en weer in dienst te nemen, ditmaal op het splinternieuwe IMOU. Voor Van Dijk was Bleeker zoiets als De Redder.

Op een dag vroeg Van Dijk mij of ik wist waarom Bleeker niet al in 1951 tot hoofddirecteur van het KNMI was benoemd. Nee, dat wist ik natuurlijk niet. Als gevolg daarvan had het KNMI volgens Van Dijk 15 jaar moeten lijden onder het bewind van Warners, een koloniaal, dus dan weet je het wel. Van Dijk ontstak in enorme woede toen hij de rotstreek beschreef waarvan Bleeker het slachtoffer was geworden. Bleeker had na de oorlog een ‘douw’ gekregen en dat trilde in 1951 nog na. Dezelfde ‘douw’ verklaarde waarom Bleeker tussen 1945 en 1950 maanden en zelfs jaren in de Verenigde Staten (nota bene het land van onze bevrijders) op sabbatical ging (Chicago, Tallahassee); daarginds had men meer waardering voor hem dan in dat bekrompen vaderlandje van niets. Bleeker raapte er enkele eredocoraten op; wat een contrast met de zuiveringsperikelen thuis. ‘Was Bleeker dan fout geweest?’ moet ik gepiept hebben. Volgens Van Dijk was Bleeker in geen enkel opzicht pro-Duits geweest, maar had hij niet voldoende afstand gehouden van de Duitse leiders op het KNMI. Van Dijk ging hier in een dubbele spagaat; ‘zijn’ Bleeker was niet moedig genoeg geweest en leek daarbij op De Quay. Ook ik had er moeite mee dat

mijn grote Bleeker fout zou zijn geweest in de oorlog en dus te vergelijken was met die nagejouwde losers in mijn dorp.

Over de geschiedenis van het KNMI in de Tweede Wereldoorlog was tot een jaar geleden nooit veel geschreven. Alleen te hooi en te gras wat opmerkingen. Ik heb, samen met Paul de Bruijn, een keer geprobeerd Wouter Lablans ervan te overtuigen een gedegen stuk over het KNMI in de Tweede Wereldoorlog te schrijven; Lablans had immers vele mooie artikelen met een geschiedkundige inslag geschreven. Ik dacht: “nu kan het nog, er zijn nu nog een paar ooggetuigen”. De reactie van Lablans was veelzeggend: hij hoefde er geen moment over te denken. Hij wees de suggestie resoluut van de hand. “Daar beginnen we niet aan, want dat gaat alleen over ‘kinderachtigheden’ tussen mensen en instanties”. Hij wist er dus wel wat van en liet ook los dat de klachten tegen Bleeker, het vereffenen van een oude rekening die met de Tweede Wereldoorlog niets te maken had, uit de kringen van de luchtvaartdienst kwamen. Ik vermoed dat Lablans zich geen raad wist hoe hij Bleeker, aan wie hij zoveel te danken had, in zo’n artikel moest neerzetten.

Men zal begrijpen dat ik uitzag naar het boek van Kees Dekker en Fons Baede (DB) over het KNMI in oorlogstijd. Ik heb het aanvankelijk koortsachtig doorgenomen, op zoek naar de gedragingen van Bleeker in de Tweede Wereldoorlog. Het is opvallend hoe “de zaak Bleeker”, hoewel nergens zo genoemd, inderdaad een grote rol speelt in dit boek.

Voor geschiedschrijving heb je ooggetuigen nodig. Maar in het geval van grote en controversiële onderwerpen zoals de Tweede Wereldoorlog (of de dekolonisering van ‘ons’ Indië) is mij gebleken dat die geschiedenis niet geschreven kan worden tenzij de betrokkenen zijn overleden, anders krijg je meteen verlammende ruzie. Wat een dilemma. DB hebben onwaarschijnlijk geluk gehad. Oud KNMI-er Van Gorp was ooit een project begonnen over het KNMI in de Tweede Wereldoorlog en heeft een aantal van de betrokkenen in 1994 nog geïnterviewd. Van Gorp’s project is nooit voltooid, maar de interviews met Bijvoet, Hamel, Ten Kate (nu allemaal overleden) zijn bewaard gebleven en dragen bij aan DB. Een willekeurige subset van alle denkbare interviews, maar fantastisch dat we althans deze nog hebben. Ik hoor nog de stemmen van deze heren; ik kende ze redelijk goed.

Hoewel Bleeker volgens critici te meegaand was in 1940 – 1945 en volgens getuigenissen weinig ophad met ‘het verzet’, kwam men na de oorlog snel tot het inzicht dat het KNMI hem hard nodig had in de wederopbouw. Men deinsde in feite terug voor de consequenties van de ook door KNMI’ers ingediende klachten tegen Bleeker in combinatie met het onbeheersbare proces der zuivering. De zuiveringscommissie nam Bleeker in feite kwalijk dat hij Bleeker was, dat wil zeggen, van nature krachtdadig, niet beducht van aard; waarom had juist hij deze karaktereigenschappen niet voor het goede vaderland ingezet. Men spaarde de HD (de technisch zeer bekwame Cannegieter) omdat hij, niet in de wieg gelegd voor bestuurder tijdens een vijandige bezetting, en zwaar leunend op z’n vertrouwen Bleeker, wat zielig overkwam. Ontslag voor de niet zo zielige Bleeker lag levensgroot voor de hand. Uiteindelijk is dat niet gebeurd omdat a) de zaak Bleeker pas eind

1946 is afgehandeld toen de grootste wraakzucht al over was, b) er discreet een goed woord voor hem gedaan is in Den Haag, en c) Bleeker eind 1945 als hoogleraar in Utrecht was benoemd, alsof de ministeries de zuivering niet met elkaar coördineerden. Bleeker kwam er af met een openbare berisping in de staatscourant en de pers.

Een bijna vergeten element over Bleeker is dat hij uit de arbeidersklasse voortkwam. Big deal? Voor de oorlog (en ook nog wel erna) werd de academische en bestuurlijke wereld in Nederland bijna volledig gedomineerd door de betere standen, dubbele namen en adel, en werd die enkele buitenstaander die de moed had te studeren continue voor proleet uitgescholden. Bleeker liet zich niet wegpesten, verlaagde zich niet door bekakt te praten, was recht voor z’n raap, en leerde zich prima verweren. Hoewel Bleeker pas 35 was bij het begin van de oorlog, kreeg hij vanwege z’n grote kennis, dadendrang en natuurlijk gezag (en een zwakke HD) een uitvergrote verantwoordelijkheid in de schoenen geschoven voor wat zou volgen.

Geheel nieuw voor mij is de grote positieve rol die de nieuwe HD, Vening Meinesz (VM), heeft gespeeld, zowel voor het KNMI als voor Bleeker als persoon. VM kwam wél uit de betere kringen en had vriendjes op de hoogste niveaus van onze samenleving. Hij was naast een geweldig wetenschapper en goed bestuurder ook een nobel mens, zo blijkt uit DB. Hij was 24-karaats Nederlander geweest gedurende de Tweede Wereldoorlog, maar zag onmiddellijk dat Bleeker onvervangbaar was op het KNMI. Een held die mild is in z’n oordeel over de minder heldhaftigen. Zijn oordeel en acties waren per saldo positief voor Bleeker. Dus daar houden we ons dan maar aan vast. De heren werkten meteen prima samen. VM vond ook dat Bleeker hem logischerwijze in 1951 als hoofd-directeur moest opvolgen. Dat is niet gebeurd, mogelijk door kinderachtigheden (Lablans) en rotstreken (van Dijk), of nog wat anders. Ondanks die kinderachtigheden in 1951 is het zeer opvallend dat de belangrijkste spelers op het KNMI zelf zeer snel besloten hebben om uitsluitend nog over de toekomst na te denken en niet langer in de loopgraven van de Tweede Wereldoorlog te vechten. Tot mijn verbijstering hadden Schmidt en Postma namelijk in mei 1945 werkelijk onoverkomelijke bezwaren tegen Bleeker ingediend; zij wilden op dat bijltjesmoment van de man af. Ik kende deze twee heren vrij goed in mijn jaren (1965 en verder), vooral promotor Schmidt, maar ik heb Schmidt, toch gespecialiseerd in sarcasme, nooit iets lelijks over Bleeker horen zeggen; wat zeg ik: er was niets dan lof over Bleeker van zowel Schmidt als Postma. Men had de oorlog achter zich gelaten; er werd niet meer over gepraat. Het KNMI heeft zich in 1945 en de daaropvolgende jaren geweldig snel hersteld. De Bleekeriaanse versie van de Noorse School werd realiteit. Het boek van DB eindigt dan ook met een opvallend positief hoofdstuk over de wederopbouw, in tegenstelling tot de rest van het boek dat, gegeven het onderwerp, namelijk een reddeloos verloren oorlog, zeer moeilijke bezettingsjaren, interne ruzies, een zuivering met bedenkelijke kantjes, behoorlijk deprimerend is.

Referentie

Kees Dekker en Fons Baede (2021), *Zwaar weer, het KNMI in de Tweede Wereldoorlog*, Uitgever Verloren, ISBN 978 9087 0493 79.
Huug van den Dool (2006), *Bleeker’s Herfst*, Meteorologica, nr 3, blz 11-12.

Buys Ballot ontmoet Brahms

Harry Geurts (KNMI, voormalig persvoorlichter)

Buys Ballot en Doppler

Wie had dat ooit verwacht? Violisten die de sterren van de hemel spelen op de plek waar Buys Ballot het KNMI oprichtte. Sterrenwacht Sonnenborgh in het Park Servaasbolwerk in Utrecht is tegenwoordig één van de historische concertlocaties van het Festival Oude Muziek dat jaarlijks eind augustus, begin september in de Domstad plaatsvindt. Mijn eerste concert in de sterrenwacht was een ervaring om nooit te vergeten. De muziek werd aangevuld met natuurlijk tromgeroffel – het onweer paste er wel bij. Storender was de regen. Het plensde zo hard dat het hemelwater door het dak naar binnen sijpelde. Emmers werden aangerukt en daar stonden de musici tussen de waterdragers op het podium. De concerten die daarna nog in de planning stonden werden ‘tot onze grote spijt afgelast wegens wateroverlast’. Alsof Buys Ballot postuum wees op het nut van zijn weerinstituut om ons te waarschuwen.

De oprichter van het KNMI zou vast zelf ook graag bij het concert zijn geweest. Buys Ballot was behalve huisvader en wetenschapper ook muzikliefhebber. Vanuit zijn zomerverblijf op het landgoed de Delle bij Epe ging hij volgens zijn biograaf E. van Everdingen [1] graag naar concerten. En hij schakelde bevriende musici in voor zijn proef van het Dopplereffect met een stoomtrein.

Op een gure dag met hagel- en sneeuwbuien in februari 1844, twee maanden nadat de spoorlijn Utrecht – Amsterdam was opgeleverd, staat Buys Ballot met twee muzikanten langs de rails te blauwbekken om te luisteren naar de toon van een hoornblazer op een passerende trein (Figuur 1). Ze horen hoe de toon van hoog naar laag verspringt als de hoornblazer op een open wagon langsrijdt, en ook als de hoornblazer op het perron staat en Buys Ballot en zijn muziekvrienden zelf met de trein voorbijrijden. Het verschil in toon varieerde naarmate de locomotief langzamer of sneller reed. De Oostenrijkse natuurkundige Johann Christian Doppler (1803 – 1853) beschreef enige jaren eerder, in 1842, het principe dat een door een bron uit-

gezonden trilling anders wordt waargenomen als de bron zich ten opzichte van de waarnemer beweegt.

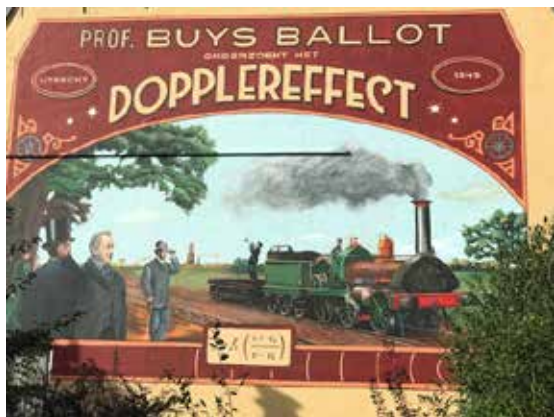
De muzikale reis met de stoomtrein herhaalde hij vier maanden later, in juni 1844. Toen pakte hij het grootser aan en werden op drie plaatsen langs de spoorlijn Utrecht-Maarssen telkens drie medewerkers neergezet. Volgens muziektijdschrift *Caecilia* werden waarnemers gestationeerd die waren geselecteerd op ‘hunne fijnheid van oor’. Het lukt na een aantal treinritten om voldoende gegevens te verzamelen om het Dopplereffect voor geluidsgolven te bewijzen. Doppler had zijn theorie eerst alleen voor lichtgolven beschreven. Maar dankzij Buys Ballot is het effect ook aan de hand van waarnemingen bewezen voor geluidsgolven. Een doorbraak van jewelste, waarover hij zelf opmerkte: ‘wat voor nut deze waarnemingen geven, zoo is er voor ‘s hands niet bepaalds voor aan te geven, maar men weet niet hoe onverwacht soms eene nieuw gevonden waarheid hare toepassing vindt.’

Superfledermaus

Hij moest eens weten: het Dopplereffect is van enorme betekenis voor de moderne wetenschap. Het wordt onder meer gebruikt bij de positiebepaling van schepen met satellieten, het meten van de snelheid van sterren, in de medische wetenschap voor het bepalen van de stroomsnelheid in bloedvaten en bij echoscopisch onderzoek van zwangere vrouwen. In de meteorologie wordt het Dopplereffect toegepast voor windmetingen in de bovenlucht. De Doppler wind-lidars bij de KNMI-meetmast te Cabauw zijn in feite laserlichtradars om de wind op verschillende hoogtes te meten. Heel verrassend is het gebruik van de Doppler weerradar voor de vogeltrek. Om de vogelbewegingen te volgen is een mobiele radar ontwikkeld, de Superfledermaus (supervleermuis) genoemd naar de komische operette van Johann Strauss (1825 – 1899).

Buys Ballot schudt Brahms de hand

Buys Ballot moet de Weense walsenkoning nog gekend hebben. Hij was tijdgenoot van vele beroemde componisten waaronder Johannes Brahms (1833 – 1897). Voor mijn nieuwe boek ‘Weerspiegeld’, waarin een hoofdstuk gewijd is aan muziek en weer, dook ik in de archieven om dit verhaal compleet te maken. Brahms was bevriend met Emma Brandes, een pianiste die in Utrecht woonde. Zij was gehuwd met professor Theodoor Engelmann (1843 – 1909) die als arts en bioloog verbonden was aan de Universiteit Utrecht. Engelmann speelde cello, was een groot liefhebber van muziek, en beschikte over een enorm netwerk zowel in de wetenschap als op het gebied van muziek. Huize Engelmann aan het Lucas Bolwerk 16 en later aan de Maliebaan 52 te Utrecht waren de ‘places to be’ voor componisten als Edvard Grieg, Johannes Verhulst, Josef Joachim en Johannes Brahms. Engelmann organiseerde in Utrecht privé-concerten waarvoor zulke



Figuur 1. Buys Ballot onderzoekt het Dopplereffect; muurschildering langs de spoorlijn in Utrecht (foto: Harry Geurts).



Figuur 2. Tivoli Concertzaal aan de Kruisstraat in Utrecht waar begin vorige eeuw vele concerten werden gegeven (bron: Het Utrechts Archief).

beroemdheden werden uitgenodigd.

Halverwege januari 1876 arriveerde Brahms met de trein uit Wenen in een ijzig koud Utrecht om twee weken te logeren bij de familie Engelmänn. Bij de concerten die daar werden gegeven was de top van academisch Nederland aanwezig, waaronder Buys Ballot [2]. Brahms trad in Nederland op als pianist en dirigent, en genoot tussen de ontmoetingen en concerten door van de zee en het strand, en van oesters en paling op de vismarkt in Utrecht. Naast muziek (bijvoorbeeld in Tivoli, Utrecht, Figuur 2) klonken ook herhaaldelijk de champagneglazen in de steden waar hij gastvrij werd ontvangen.

Brahms genoot van de natuur en van het weer. Tijdens een verblijf aan de oever van de Starnberger See in het zuiden van Duitsland, een van zijn lievelingsplekken om muziek te componeren, schrijft hij: “We hadden zojuist een schitterend onweer, het meer was zwart, maar schitterend groen langs de oevers ... Op de achtergrond staat een reeks met sneeuw bedekte bergen- je raakt er nooit op uitgekeken.” Toen hij in januari 1876 ons land aandeed kon hij ook genieten van de sneeuw. Weerhistoricus Jan Buisman schrijft in *Bar en Boos* [3] over een witte wereld met een lange reeks ijsdagen, strenge vorst in Utrecht en drijfjys op de Zuiderzee.

Brahms was bepaald niet de enige beroemde componist die regelmatig in ons land te vinden was; ook Gustav Mahler bracht zijn vakanties hier graag door. Hij wandelde graag over de Hilversumse hei en genoot ook van de zee, het strand en de duinen. Behalve als er mist op kwam zetten. “De troosteloze eenzaamheid van de in de mist verdwijnende zee en de kleurloze gesloten hotels



Figuur 3. CD-hoes van 't Schrickelick Tempeest van het Pulse Ensemble.

maakten Mahler nerveus,” schrijft Jos van der Zanden in *Componisten op bezoek in Nederland* (Uitgeverij de Prom, 2002). “Ik zeg u dit: hier kom ik van mijn leven niet meer terug,” zei hij tijdens zijn inderdaad laatste bezoek aan Nederland in 1909.

Heel anders verging het de Oostenrijkse componist Alban Berg (1885 – 1935) die intens genoot van de golven, de zee en het Hollandse licht, ook als het weer tegenviel. “Ik nam een heleboel foto’s hoewel het weer niet heel erg goed was en het zelfs nu en dan regende.” Het aanzwellende geluid van de golven aan het strand van Zandvoort verklankte hij in zijn muziek. De Franse componist Claude Debussy (1862 – 1918), bekend van zijn symfonische gedicht *La Mer* werd niet zo gelukkig van het weer in ons land. “Echt Hollands-koud is het, een miezerregen,” vertelde hij na zijn bezoek aan Den Haag in februari 1914. Ook de reisjes van Mozart en Beethoven naar de Lage Landen stemden niet bepaald vrolijk. Het was één grote klaagzang, niet alleen vanwege het weer, maar vooral omdat wij zo zuinig waren.

Dit alles maakte me nieuwsgierig naar de ervaringen van onze eigen componisten. Tot mijn verrassing leverde een kleine inventarisatie van Nederlandse weermuziek aardig wat zon en warmte op. Met name de in Stadskanaal geboren componist Cornelis Dopper (1870 – 1939) schreef vele zonnige klanken, zoals zijn bijzondere lied *Geh an die Sonne* voor zangstem, strijkers, celesta en harp, en ook zijn liederencyclus *Van zon en zomer*, over een zonnige middag in mei en de avondzon.

De zomerstorm van 1674

Ook ontbreekt het in muziek van eigen bodem niet aan heftig weer, zoals storm en onweer. Recent verscheen de cd *'t Schrickelick Tempeest*, waarop het Utrechtse Pulse Ensemble de zomerstorm van 1 augustus 1674 bezingt (Figuur 3). Bij dat noodweer dat die dag over het hele land trok stortte het middenschip van de Utrechtse Domkerk in, vermoedelijk door sterke valwinden. Al drie eeuwen eerder, rond 1374, voorspelde Geert Groote, de grondlegger van de Moderne Devotie, groot onheil voor de Domkerk. In zijn traktaat *Contra turrim Traiectensem* voorspelt hij namelijk het ineensstorten van de Domtoren. De toren zelf doorstond de storm echter met glans en staat nog altijd fier overeind.

Nawoord

In Zenit nummer 10, 1996, verscheen een uitvoerig artikel over het dopplerexperiment van Buys Ballot geschreven door Niek Exalto en Harry Geurts. In het tv-programma *Jekels Jacht* van 12 februari 2022 gaat Diederik Jekel op zoek naar de plek waar Buys Ballot zijn experiment uitvoerde, naar trompettisten en mensen met een absoluut gehoor. Uitzending gemist: https://www.npostart.nl/jekels-jacht/12-02-2022/VPWON_1340043.

Bronnen

1. *Nederlanders in de negentiende eeuw*, Daamen N.V.-s -Gravenhage/De Sikkell- Antwerpen, 1953.
2. Mirjam T.V. de Jong, Martiene Mussies, ‘Muzikale ontmoetingen in Huize Engelmänn, in Oud-Utrecht: tijdschrift voor de geschiedenis van Utrecht, deel 93, nr. 1, februari 2020.
3. Drs. Jan Buisman. *Bar en Boos, Zeven eeuwen winterweer in de Lage Landen*, Bosch & Keuning NV, Baarn 1984. Engelmänn

BBB en Darcy

Thom Zwagers

Er bestaan opmerkelijke overeenkomsten tussen meteorologie en politiek. Meteorologen en politici beloven allebei dingen die niet gaan gebeuren. Weersverwachtingen zijn gebaseerd op een beperkte hoeveelheid informatie waardoor woorden als “mogelijk”, “plaatselijk”, “kans”, “misschien”, “overwegend” en “vooral” welig tieren. Politici tijdens een pandemie hebben net als wij te maken met grote onzekerheden, maar moeten wel beslissingen nemen. De grootste overeenkomst: het is sowieso nooit goed. En dat is eigenlijk wel lekker, dat er tenminste nog iets zeker is.

In de winter van 1985 liep ik naar buiten. Twee mannen in klaaroverpakken waren bezig om de buurt uit te graven. “Oei, het heeft een beetje erg veel gesneeuwd,” zei ik als bijna 9 jaar oude jongen. De mannen lachten mij keihard uit, maar die winter deed mijn liefde voor het weer ontvlammen. Vele jaren aan studieontwikkend gedrag later werd de meteorologie mijn werk. De klimaatverandering was in die jaren veel minder lui geweest en een winter zoals die van 1985 wordt steeds onwaarschijnlijker.

Toch heb ik in de tussentijd wel getwijfeld. Computer-programmeren was ook leuk. Ik koos voor de meteorologie omdat ik dacht dat het weer makkelijker te combineren zou zijn met IT dan andersom. Nu vervloek ik onhandelbaar weer tijdens weerkamerdiensten. Tijdens offline-diensten spuug ik uit blinde woede mijn beeldscherm onder totdat een computerprogramma eindelijk doet wat ik wil.

Om de ontspanning te vinden zou ik aan meditatie kunnen doen, maar ik ben niet zo zweverig ingesteld. In plaats daarvan kijk ik naar YouTube-filmpjes van Scott Hanselman, een IT’er die werkzaam is bij Microsoft. Met zijn kalmerende stem is hij de Bob Ross van de computerwereld. Laatst kreeg hij de vraag van een beginnende computer-programmeur wanneer Scott voor het eerst het gevoel had dat hij wist waarmee hij bezig was. Hanselmans antwoord was duidelijk: “ik weet nog steeds niet waar ik mee bezig ben.” Deze man werkt al decennia in zijn vakgebied. Voor mij was het een geruststellende video.

Ik weet namelijk na 16 jaar ook nog steeds niet waar ik mee bezig ben. Om mij heen zie ik collega’s vol overtuiging dingen verkondigen die niet gebeuren. Wat weten zij wat ik niet weet? Ik vrees dat zo’n houding van mij ook verwacht wordt. Februari 2021. Er verscheen een heuse sneeuwstorm op de kaart. Ik stond voor alle dagen stand-by als calamiteitenmeteoroloog en meldde mijn vriendin alvast dat ze de komende dagen een sneeuw weduwe zou worden. En zo geschiedde. Het erge was dat het allemaal zo zeker leek. De modellen vertelden min of meer hetzelfde en het was nog goed te begrijpen ook.

Dus het spel moest op de wagen. Daar zit je dan. Achter een groot videoconferentiescherm. Aan de andere kant een stuk of 15 schermpjes met priemende ogen van het zogenaamde “Weer Impact Team”, bestaande uit diverse partijen die zich bezighouden met crisisbeheersing. Het verhaal bestond natuurlijk uit sneeuw, wind, gevoelsstemperatuur en ijzel. Tel dat bij elkaar op, haal de overbodige hysterie eraf en code rood is de onvermijdelijke uitkomst.

Dit keer niet zomaar een weeralarm: de vaccinatie- en teststraten zouden als gevolg hiervan gesloten worden. En dan moest de eerste vlok nog vallen én blijven liggen.

Naar huis gaan was geen optie. De volgende dag ging het gebeuren, en was er weer een calamiteitenmeteoroloog nodig. Mijn huis bevindt zich op 40 minuten rijafstand van het KNMI en het is vrij slordig als de persoon die het weeralarm had verstuurd zou verongelukken of niet op het werk zou kunnen komen. Gelukkig ligt er een hotel om de hoek. Het gordijn ging ‘s avonds dicht en ik nam me voor om niet te gaan kijken of het al begon te sneeuwen. Ik zou het de volgende ochtend wel zien. De slaap was onrustig. De volgende ochtend was wit. Opluchting. Vandaag gaan we feestvieren alsof het 1979 is, dacht ik nog. Het weer heeft een grotere invloed op het Nederlandse volk dan het OMT, want het hele jaar was er niet zo weinig verkeer op de weg als op die dag. Sneeuwstorm Darcy was een feit en dat voelde lekker. Niet alleen kwam de verwachting uit, maar dit was precies het weer waarom ik meteoroloog wilde worden. Tegelijkertijd moet je altijd opletten met te veel opgetogenheid in ons vak. De volgende miskleun is immers nooit ver weg.

Meteorologen hebben het anno 2022 maar makkelijk. Ze hebben een overdosis aan informatie, veel meer dan bijvoorbeeld de drie grote namen uit de historie van de weerdienst: Buys Ballot, Bleeker en Bijvoet. Zij wisten in vergelijking met ons vrijwel niets, waren ten opzichte van de satellietgeneratie van nu blind. In mijn boekenkast staat het leerboek synoptische meteorologie van Wouter Bleeker uit 1942 (Figuur 1). Ik blader daar weleens in; het is ongelooflijk hoeveel ze destijds toch wisten qua theorie. Ze moesten denk ik ook wel, want verder hadden ze heel weinig. Geen satelliet, geen radar, geen computermodellen, veel minder waarnemingen. Zou het andersom misschien ook zo zijn? Dat we in principe minder weten omdat we zo veel hulpmiddelen tot onze beschikking hebben? Nog erger: hoe langer ik dit vak doe, hoe meer ik me ervan bewust word wat ik allemaal niet weet. Onwetendheid geeft paradoxaal genoeg het gevoel dat je dingen weet.

Enige nederigheid is dus wel op z’n plaats. Aan de andere kant is niets bedrieglijker dan de schijn van nederigheid. Vaak is het slechts een onzorgvuldige mening, maar soms ook indirecte opschepperij. In stilte genieten en er niet te veel over praten is misschien het

beste. Uiteindelijk sneeuwde het gewoon een beetje erg veel. Hoeveel Wouter Bleeker ook betekend heeft (hij introduceerde onder andere de Noorse School in Nederland), de Bleekerzaal op het KNMI werd een aantal jaren geleden zonder pardon hernoemd naar de Fahrenheitzaal.



Figuur 1. Leerboek der synoptische meteorologie van Wouter Bleeker (1942).

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

Weerspiegeld, het weer nader verklaard

Harry Geurts

De allereerste metingen, de geschiedenis van het weer op radio en tv, weerpioniers Cruquius en Buys Ballot, ijsgeheimen ontrafeld, het ideale Waddenweer voor zonliefhebbers en hittehaters, wolkenman Goethe, zonnig Nederland, hittecijfers, vulkaanstof, zand en stuifmeel, droogte en natuurbranden, weercijfer 10 ... Zomaar een greep uit het gevarieerde aanbod aan onderwerpen in mijn nieuwste boek "Weerspiegeld, het weer nader verklaard". KNMI-hoofddirecteur Gerard van der Steenhoven nam op 17 maart 2022 het eerste exemplaar in ontvangst. "Een feest om te lezen, het blijft boeien", vertelde hij in een goedgevulde Buys Ballotzaal van het KNMI. Bezoekers waren voor het eerst in twee jaar weer zonder corona-restricties welkom, en de signeersessie werd druk bezocht (Figuur 1). Ook vier jaar geleden sprak de hoofddirecteur bij mijn afscheid van het KNMI en toen voorspelde hij al dat ik het weer niet zou kunnen loslaten. Uitgeverij Van Wijnen gaf me carte blanche voor een boek waarin mijn passies konden samenkomen: geschiedenis, kunst, muziek en het weer.

Eerste metingen

Metingen over vele jaren zijn onontbeerlijk om vast te stellen of het klimaat verandert, maar meten met instrumenten doen we nog maar betrekkelijk kort. Vertrouwde instrumenten zoals de thermometer en de barometer moesten zo'n 500 jaar geleden nog worden uitgevonden en pas halverwege de 17e eeuw vonden de eerste weermetingen plaats. Nederland is een van de eerste landen waar toen al systematisch weerkundige metingen werden gedaan. We beschikken over een rijk archief aan meetreeksen en historische kennis van de meteorologie. De weerkundige geschiedenis neemt in dit boek een belangrijke plaats in.

Het weer op radio en tv

De radio zendt al weerberichten uit sinds dit medium ruim een eeuw geleden is uitgevonden, en dat geldt ook voor de televisie. Op 7 oktober 1951, vijf dagen na de eerste officiële landelijke televisie-uitzending, was op de vijfhonderd televisies die Nederland telde de eerste tv-weerman te zien. Hij maakte deel uit van een team van negen tv-weermannen. Joop den Tonkelaar was het vaakst op de buis maar je zag alleen zijn arm waarmee hij met een krijtje de H's en de L's op de kaart tekende. Twintig jaar lang was Joop mijn naaste collega bij het KNMI en vertelde hij enthousiast over zijn bijzondere jaren als BN'er: "Je zou er een boek over kunnen schrijven". Tegenwoordig is het weerbericht nog altijd één van de populairste onderdelen van de nieuwsuitzendingen, maar radio en tv zijn allang niet meer de enige doorgeefluiken. Internet, social media en podcasts bieden een nog veel grotere schat aan informatie over weer en klimaat. De weerman is tegenwoordig veel meer een journalist die naast de weersverwachting ook aandacht besteedt aan actueel nieuws over het weer en aan de klimaatverandering.

Klimaat en muziek

Ook in verschillende hoofdstukken van dit boek, over



Figuur 1. Signeersessie bij het KNMI. Foto: Josine Camps, KNMI.

bijvoorbeeld neerslag, droogte, storm, vorst, satellietmetingen, wijn en het weer, gezondheid en de Elfstedentocht, komt de verandering van het klimaat aan bod. Samenwerking van kunstenaars met (klimaat)wetenschappers leidt niet alleen tot projecten waarbij oude muziek nieuw leven in wordt geblazen, maar ook tot nieuwe muziek om de urgentie van het klimaatprobleem onder de aandacht te brengen. In het muziekweerbericht over het weer in de muziek heb ik naast klassiek, pop en jazz ook een top 10 gewijd aan klimaat als thema. Het boek is volledig in kleur geïllustreerd met weerkunst uit de collectie van het Rijksmuseum in Amsterdam (Figuur 2).

Enkele recensies

Govert Schilling in de Volkskrant: "Een heerlijk bladerboek over wolken, weer en neerslag". Sebastiaan Cobelens in Weerspiegel: "Vlot geschreven verhalen met diepgang en feiten". Jan Buisman: "Opnieuw een boek dat je niet loslaat!"

Boekdetails

Weerspiegeld – Het weer nader verklaard. Uitgeverij Van Wijnen, Franeker, 2022. Het boek is verkrijgbaar in de (online) boekhandels (prijs €29,50).



Figuur 2. Voorplaat van het boek. Een molen aan een poldervaart, bekend als 'In de maand juli', door Paul Joseph Constantin Gabriël, circa 1889, olieverf op doek (Collectie Rijksmuseum, Amsterdam).

Samenvatting NVBM-voorjaarssymposium en ALV 2022

Bestuur NVBM

Op 25 maart 2022 vond het NVBM-voorjaarssymposium plaats dat geheel in het teken van het leven en werk van Marcel Minnaert stond. Gastvoorzitter Henk de Bruin opende het symposium met een kort overzicht van Minnaerts wetenschappelijke loopbaan en zijn activisme in de Tweede Wereldoorlog. Henk plaatste het werk van Minnaert over de Natuurkunde van het vrije veld in perspectief tot de hedendaagse natuurkunde waar veel aandacht is voor elementaire deeltjes (Figuur 1). Hij vertelde dat in watervallen recentelijk Quantum Electrodynamics-coherente druppels zijn gevonden (Madl et al., 2012). De Natuurkunde van Elementaire deeltjes en de Oerknal zijn dus niet veel moderner dan de Natuurkunde van 't Vrije Veld.

In de tweede presentatie "ROGGIV – de regenboog voor iedereen" vertelde beeldend kunstenaar Janneke Schenk over haar ontdekkingsreis naar het begrip van optische verschijnselen in de atmosfeer. Daarover schreef ze een boekje waarin de natuurkunde achter weerkundige fenomenen zoals halo's, regenbogen, heilgenschijn toegankelijk en rijk geïllustreerd wordt aangeboden. Henk de Bruin presenteerde daarna als invaller voor Hans Oerlemans twee onderwerpen over ijs: de natuurkunde achter ijsgroei in sloten en meren, en ijsstupa's die een eenvoudige manier zijn om water op te slaan in droge, koude gebieden. Het idee is dat gebieden die in de regenschaduw van de Himalaya liggen een beperkte jaarlijkse neerslag hebben (~80 mm). In de vroege zomer droogt de watertoevoer uit het gebergte op, maar neerslag die in de late herfst en winter valt, kan opgeslagen worden in de vorm van ijs door het water te vernevelen in een soort fontein waarna het bevriest op een grote ijsmassa (zie ook het artikel van Hans Oerlemans in de Meteorologica van december 2021).

De middag werd afgesloten door voormalig denker des vaderlands René ten Bos over zijn boek *Meteosofie*. Het weer confronteert mensen al eeuwen met onvoorspelbaarheid en onzekerheid. Vandaag de dag is dat nog steeds het geval, maar meer op het vlak van het klimaat. René ten Bos onderzoekt het denken over alles wat zich tussen hemel en aarde afspeelt, en presenteert dit als een veelal vergeten onderdeel van de filosofiegeschiedenis. Gelet op de klimaatcrisis en de toename van extreme weersverschijnselen is het de hoogste tijd deze geschiedenis aan de vergetelheid te ontrukken. Er ontstond een zeer interactieve discussie met het aanwezige publiek. De PowerPoint-slides van de presentaties zijn terug te vinden op de NVBM-website.

Tijdens de voorafgaande algemene ledenvergadering namen we afscheid van *Olaf Vellinga* als bestuurslid en verwelkomden we *Karin van der Wiel* (KNMI) in het bestuur. We bedanken Olaf voor zijn achtjarige bijdrage aan het bestuur als penningmeester en webmaster, voor het bijhouden van de postbus en zijn werk rondom de invoering van de AVG-wetgeving. Ook werd de NVBM-strategie voor 2021 – 2026 goedgekeurd, en stemde de vergadering in met het instellen van een jaarlijkse MSC-scriptieprijs (zie ook pagina 21). Met de ALV sloten we ook het lustrumjaar af. Dat was een mooie gelegenheid om de redactie van de Meteorologica een keer in de zonnetje te zetten en hen te bedanken voor hun inzet voor het blad en de vereniging.

Literatuur

Madl P, Del Giudice E, Voeikov VL, Tedeschi A, Kolarz P, Gaisberger M and Hartl A, 2013: Evidence of Coherent Dynamics in Water Droplets of Waterfalls, *Water*, **5**, 57-68.



Figuur 1. Dagvoorzitter Henk de Bruin vertelt over Marcel Minnaerts werk.



Door het ijs gezakt

Gerard van der Schrier

“Zo! Kijk daar maar eens naar!” Een overdrukje uit 1963 ploft op mijn bureau. Als ik omhoog draai kijk ik in het lachende gezicht van Hendrik Wallbrink. Zijn vriendelijke ogen onder een stel wild dansende wenkbrauwen lijken te zeggen: “jij bent toch zo slim?” Gelukkig was ik inderdaad slim genoeg om dit overdrukje op het stapeltje ‘interessant – maar voor later’ te leggen. Het heeft me in al die jaren dat het op dat stapeltje lag nooit echt losgelaten.

Het verhaal leest dan ook als een jongensboek. Op 14 maart 1660 vaart de Portugese kapitein David Melgueiro met zijn schip ‘Pai Eterno’ onder Nederlandse vlag van Japan terug naar huis. Niet op de gebruikelijke manier via Kaap Hoorn of Kaap de Goede Hoop, maar door de Beringstraat, dan ten noorden langs Canada en Groenland, en vervolgens tussen Groenland en Spitsbergen door de Atlantische Oceaan op. Een Franse marineofficier, gestationeerd in Portugal als geheim agent, doet in 1701 verslag van deze reis aan zijn baas, de minister van Marine onder Louis XIV. Weer 50 jaar later wordt deze brief in de archieven ontdekt. De Franse geograaf Buache citeert in een boek uitvoerig uit deze brief, en het mysterie van de Noordwestelijke doorvaart is geboren! Talloze ontdekkingsreizen naar de Noordwestelijke doorvaart, geïnspireerd door het boek van Buache, hebben niets opgeleverd behalve de waarneming van snijdende kou, dikke ijsmassa’s, vastgevroren schepen en vermiste bemanningen. De Noordwestelijke doorvaart werd voor onmogelijk gehouden en bestempeld als een illusie.

Wat Hendrik irriteerde, was dat een normaal verslag uit een scheepsjournaal zomaar werd afgedaan als onzin, alsof de kapitein van het schip maar wat zat te verzinnen. Hendrik kwam zelf uit de koopvaardij; hij was stuurman op het oceanografisch onderzoeksschip ‘Cumulus’. De schrijver van het stuk, Piet Verhoog, was Commandeur bij de Holland-Amerika lijn en een autoriteit binnen de koopvaardij. Deze man kon maar moeilijk verkroppen dat één van zijn vakgenoten als gekkie werd weggezet, alleen omdat expeditie die vele jaren later naar hetzelfde gebied in de Arctische Oceaan vertrokken hele andere ijscondities tegenkwamen dan David Melgueiro in 1660.

Wat wellicht meespeelt bij de teleurstelling van de expeditie naar de Noordwestelijke doorvaart, is dat men destijds niet het besef had dat de oceaan – en het hele

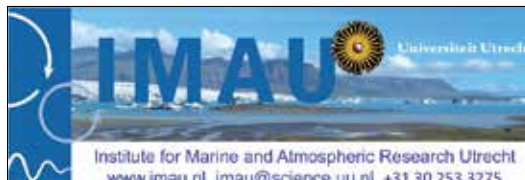
klimaatstelsel – zeer dynamisch is. Je ziet dat terug in één van de eerste expeditie die de Atlantische Oceaan in kaart wilde brengen. De Britse admiraliteit gaf rond 1760 majoor James Rennel deze opdracht; hij had eerder heel verdienstelijk India in kaart had gebracht, dus de Atlantische oceaan moest ook wel lukken.

Rennel was toen al niet de jongste met zijn 60+; blijkbaar dacht de admiraliteit vrij gemakkelijk over deze monsterklus. Hoe dan ook, de urgentie was hoog. In die tijd zonken er namelijk meer schepen door onnauwkeurige kaarten dan door vijandelikheden. Rennel gebruikte zijn netwerk – hij was bevriend met admiraal Beaufort – om zoveel mogelijk temperatuurmetingen van het oppervlaktewater te verzamelen. Het idee was dat je aan de hand van een watertemperatuurmeting op de kaart kon aflezen waar je was! Vriendjes van Rennel deden metingen op hun tochten over de Atlantische oceaan en sommigen voeren heen-en-weer dwars over de Golfstroom om deze te bemonsteren. Alle metingen werden vervolgens in een kaart geplotted, met datum. Tenminste: alleen de dag en de maand, want men meende dat de enige variabiliteit de seizoenscyclus zou zijn!

Ondertussen weten we beter. Een recent voorbeeld waarbij de oceaan meer variabiliteit kent dan gedacht is de Meridional Overturning Circulation (MOC). Sinds twee decennia wordt de sterkte hiervan bemonsterd ter hoogte van 26.5°N en de MOC blijkt niet de logge, slome circulatie te zijn, maar een sterk van dag-tot-dag variërende stroming die soms stilvalt en waarin een kleine trend naar een lagere stroomsnelheid valt waar te nemen.

De vraag is dus of de Noordwestelijke doorvaart van Melgueiro uit 1660 toch mogelijk was omdat de oceaan-atmosfeer variabiliteit daartoe reden gaf? De tocht van de ‘Pai Eterno’ viel midden in de meest uitzonderlijke periode van de zogenaamde Kleine IJstijd, waarvan we weten dat de atmosferische circulatie over de Atlantische sector geruime tijd anders was dan de huidige. Het zou mooi zijn om vast te stellen dat de gedachte van Wallbrink en Verhoog, namelijk dat David Melgueiro niet knettergek was, toch klopt, en dat deze zeevaarder de plek in de geschiedenis krijgt die hij verdient – de man op het juiste tijdstip op de juiste plek om getuige te zijn van de grillige dynamica van ons klimaatstelsel.

Sponsors van de Nederlandse Vereniging ter Bevordering van de Meteorologie



Colofon

Redactie

Hoofdredacteur: Richard Bintanja (e-mail: richard.bintanja@knmi.nl).

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

Artikelen en bijdragen

Deze dienen uitsluitend digitaal (bijvoorbeeld 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: Mike Budde (penningmeester@nvbm.nl).

Vormgeving: Colorhouse, Almelo.

Verenigingsvestiging: 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: richard.bintanja@knmi.nl).

Sponsorschap NVBM

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

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

Voor meer informatie over het sponsorschap kunt u contact opnemen met Richard Bintanja of Mike Budde (zie boven).

Come and study *Meteorology and Air Quality* at
Wageningen University



Bachelor of Science Soil, Water, Atmosphere



Master of Science Meteorology and Air Quality

Wageningen University
Meteorology and Air Quality
<http://www.maq.wur.nl>

Contact:
Michiel van der Molen
Michiel.vanderMolen@wur.nl

Information:
BSc: <http://www.wur.nl/bbw>
MSc: <http://www.wur.nl/mee>

