



Verhalen van weer in de toekomst

Prof. Dr. ir. Wilco Hazeleger

Inaugurele rede bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon
hoogleraar Klimaatdynamica aan Wageningen University op 19 januari 2012



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**

Verhalen van weer in de toekomst

Prof. dr. ir. Wilco Hazeleger

Inaugurele rede bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar
Klimaatdynamica aan Wageningen University op 19 januari 2012



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**

ISBN 978-94-6173-161-6

Verhalen van weer in de toekomst

Mijnheer Rector Magnificus, collega's, familie, vrienden, dames en heren,

Er kruipt bij ons een jonge telg door het huis. De kleine dame weet nog niks van meteorologie en klimaatverandering, maar bleek al een eerste les te krijgen van niemand minder dan Annie M.G. Schmidt. Geheel willekeurig krijgt ze 's avonds een verhaaltje uit het grote versjesboek te horen voor ze naar bed gaat. Op een avond kwam het volgende versje voorbij:

Het mannetje Regenpiet

*Dat mannetje dat je hier zo ziet,
Dat is het mannetje Regenpiet.
Wat zeg je nu? Je kent hem niet? O ja, je kent hem stellig!
Wanneer de wind een beetje draait
En weer eens uit het westen waait,
Dan gaat dat mannetje huilen, want hij vindt het ongezellig.*

*Zijn tranen rollen naar omlaag,
Dan komt er weer een regenvlaag,
Wat regent het weer hard vandaag, we gaan een beetje schuilen.
Hier valt een drop en daar een drop,
Zet nu je paraplu maar op,
Het kleine mannetje Regenpiet is weer eens aan het huilen.*

*Maar draait de wind van west naar oost,
Dan is het mannetje weer getroost,
Dan kijkt hij ook niet meer zo boos, dan lacht hij je weer tegen.
Dan zitten wij weer in de zon
En drinken thee op het balkon,
En zeggen: He, gelukkig is het uit met al die regen.*

*Soms roep ik wel eens: Huil nou niet,
Wees niet zo treurig, Regenpiet,
Waarom heb jij toch zo'n verdriet, je moet je tranen stelpen!
Dan roept hij knorrig naar benee:
Luisa, bemoei je d'r niet mee,
Ik huil nog wel een uur of twee, ik kan het heus niet helpen.*

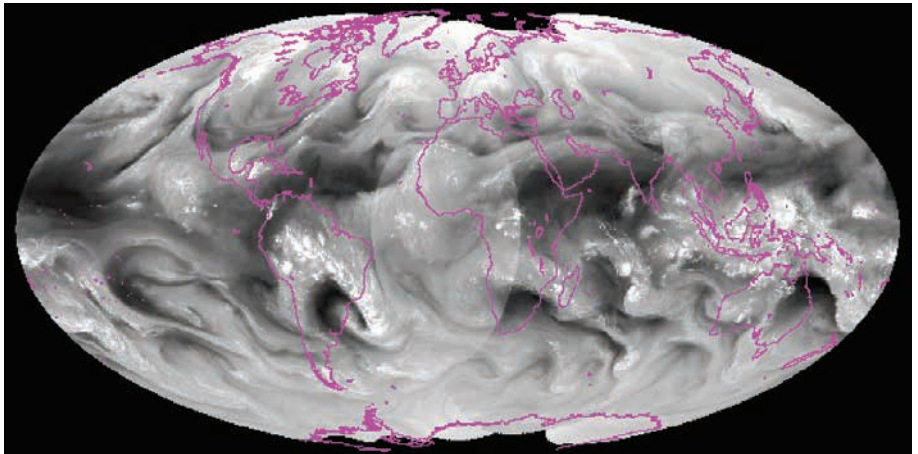
Letterlijk in Jip-en-Janneke taal heeft mevrouw Schmidt hier een van de basis-elementen van de klimaatscenario's van het KNMI uitgelegd. Iedereen weet dat als in de winter de wind uit het oosten komt, dat het dan vaak koud is, en als het uit het westen komt regenachtig. In de zomer geeft een oostenwind vaak warm weer. Blijkbaar is de windrichting erg bepalend voor het weer in Nederland. Naar de verre toekomst kijkend, zeg 50 jaar vooruit, is het belangrijk te weten hoe de dominante windrichting verandert. Maar wat te doen als onbekend is of het weer vaker uit het westen of vaker uit het oosten komt aanwaaien? Hoe om te gaan met zulke onzekerheden? Het KNMI heeft daarom klimaatscenario's opgespannen rond deze variabele. Later komt het verhaal van het weer van mannetje Regenpiet terug. Eerst meer over de leerstoel Klimaatdynamica.

Leerstoel Klimaatdynamica

Klimaat is de statistiek van het weer, soms in het Engels uitgelegd als 'climate is what you expect, weather is what you get.' Het weer van alledag is een realisatie van het klimaat. Dynamica refereert in de klassieke natuurkunde naar krachtenleer, maar in de stromingsleer wordt dynamica breder gezien. Voor deze leerstoel is het de studie naar eigenschappen van het klimaat, zoals de stromingen in atmosfeer en oceaan, de temperatuur, de luchtdruk en de neerslag, als functie van tijd en van plaats. Omdat klimaatdynamica z'n wortels in de natuurkunde heeft, wordt hier een indeling van natuurwetenschappelijk onderzoek gebruikt om het veld en de uitdagingen daarin te duiden. Die indeling volgt drie fundamenteën: die van de theorie, die van het experiment en die van de simulatie. Ruwweg volgen deze fundamenteën de historie van de natuurwetenschap. De denkkraft van de oude Grieken leidde tot de eerste theorieën, tijdens de Verlichting werden die gecombineerd met het experiment en na de industrialisatie en de wereldoorlogen deed de simulatie met computers zijn intrede.

De theorie

De theorie van klimaatdynamica stoelt vooral op de stromingsleer, thermodynamica en stralingsfysica. Wetten uit de natuurkunde worden toegepast op atmosfeer, oceaan, landoppervlak en ijs. In de decennia na de tweede wereldoorlog is veel vooruitgang geboekt. Vooral de quasigeostrofe benadering bracht veel inzicht in fenomenen in de atmosfeer en oceaan. De theorie rond omzettingen van energie door barotrope en barocliene instabiliteit heeft geleid tot begrip over het gedrag van bijvoorbeeld golven in de atmosfeer zoals in Figuur 1 te zien is in een verzameling



Figuur 1 Een verzameling van satellietbeelden van waterdamp, geïntegreerd over de hele diepte van de atmosfeer (Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin. <http://www.ssec.wisc.edu/data/composites.html>)

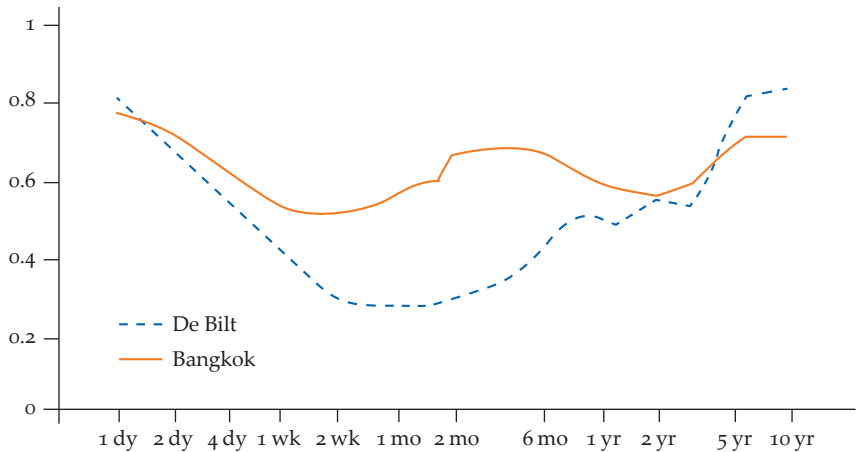
van satellietbeelden van waterdamp. De theorie laat zien hoe energie, die vooral afkomstig is van de zon, in het klimaatsysteem wordt omgezet in bewegingen in de atmosfeer en oceaan en uiteindelijk gedissipeerd wordt. Later kwam het werk van Stommel en van Lorenz. Zij zijn pioniers geweest die de niet-lineaire dynamica van de atmosfeer en oceaan beschreven. Hun werk vormt de basis van voorspelbaarheidsonderzoek, onderzoek naar regimes en abrupte klimaatverandering. De laatste twee decennia is de vooruitgang in dit theoretische onderzoek echter niet groot.

Het besef dat het klimaat langzaam verandert geeft nieuwe kansen voor zowel de klassieke dynamische meteorologie en oceanografie als de niet-lineaire dynamica. Veel werk is gebaseerd op storingsrekening. Het gaat om verstoringen ten opzichte van een gemiddeld klimaat. Dat klimaat verandert. Het gedrag van de straalstroom, de groei van depressies, de verandering van intensiteit van buien etc. is anders in een warmer klimaat. Niet alleen de verandering van het gemiddelde, maar ook de veranderingen daar bovenop zijn interessant. De vraag is niet alleen of de wind meer uit het westen of uit het oosten komt, maar ook of dat ander gedrag van het weer geeft dat bij die circulatie hoort.

De theorie rond voorspelbaarheid van het weer bestaat al enige decennia. Het is bekend het weer een paar dagen vooruit voorspelbaar is. Sinds Lorenz weten we dat daar een limiet aan zit door het chaotische karakter van de atmosfeer. Die limiet is een paar weken op z'n hoogst. Toch is er meer haalbaar. Het feit dat er klimaat-schommelingen van jaar tot jaar zijn geeft de mogelijkheid tot seizoenen vooruit te voorspellen. Vooral El Niño en La Niña, het quasi-periodiek opwarmen en afkoelen van de tropische Stille Oceaan, geeft voorspelbaarheid. Het zijn de variaties in de enorme reservoirs aan warmte in de oceaan die daarvoor zorgen. Langzamere schommelingen, met periodes van tientallen jaren, vinden plaats in de Noord Atlantische en de noordelijke Stille Oceaan. Die schommelingen maken het misschien mogelijk om meerdere jaren vooruit te voorspellen. We kunnen niet zeggen wat het weer op 19 januari 2018 wordt, mogelijk wel wat de kans is dat de winters in 2015 tot 2020 kouder of warmer dan normaal zullen zijn.

Dit soort verwachtingen werden door Lorenz "voorspelbaarheid van het eerste soort" genoemd. Wiskundig gezien zijn het beginvoorwaarde problemen. Gegeven de huidige toestand van de atmosfeer, de oceaan, het land kan gebruik makend van de wetten van de natuurkunde een voorspelling gemaakt worden. Lorenz identificeerde ook "voorspelbaarheid van het tweede soort." Dat zijn wiskundig gezien randvoorwaarde problemen. Het gaat meestal om verandering in straling. Het is makkelijk te voorspellen dat juli 2012 warmer zal zijn dan januari 2012 in Nederland.

Dat is een accurate voorspelling omdat Nederland meer straling van de zon ontvangt in de zomer dan in de winter. Een vergelijkbaar randvoorwaarde voorspelling kan gedaan worden voor de komende eeuw wanneer broeikasgasconcentraties in de atmosfeer toenemen. Omdat die gassen een verwarmend effect op het klimaat hebben zal het klimaat opwarmen.



Figuur 2 Kwaliteit van een persistentieverwachting, uitgedrukt in een lag-N autocorrelatie voor de geobserveerde temperatuur gemiddeld over de tijdschaal N aangegeven op de horizontale as

Figuur 2 laat de kwaliteit zien van een persistentievoorspelling, de meest eenvoudige voorspelling (de temperatuur van morgen is hetzelfde als de temperatuur vandaag, de temperatuur van volgende week is hetzelfde als die van deze week, de temperatuur van de komende vijf jaar hetzelfde als die van de afgelopen vijf jaar etc). De waarde daarvan, in termen van een correlatie, is hier uitgezet voor tijdschalen van dagen tot decennia. In de Bilt geeft persistentie voorspelbaarheid van een paar dagen. Het zakt ineen op maandelijkse tijdschalen en komt terug op langere tijdschalen. De bron van voorspelbaarheid in de eerste periode is 'geheugen' door de toestand van de huidige atmosfeer, voorspelbaarheid van het eerste soort. Op langere tijdschalen komt voorspelbaarheid terug. Dat is voorspelbaarheid van het tweede soort, vooral vanwege de toename van broeikasgasconcentraties. De curve voor Bangkok laat een piek zien rond een paar maanden, dat komt door de invloed van El Niño.

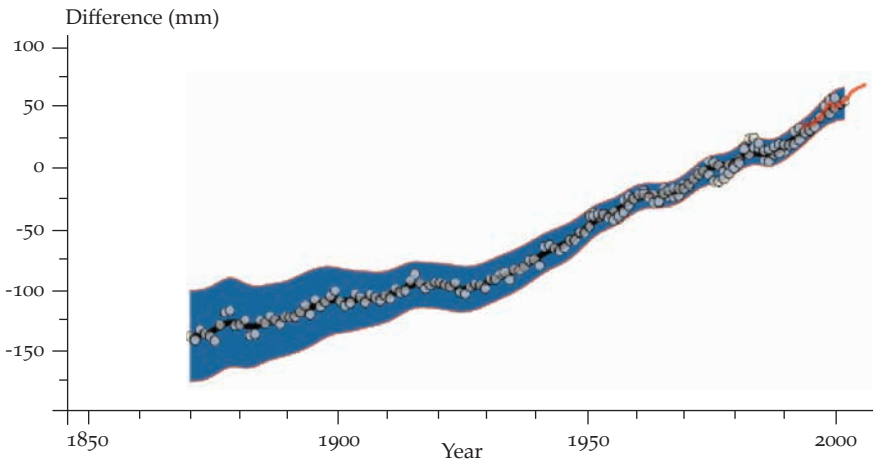
Hoeveel het precies opwarmt hangt af van terugkoppelingen in het klimaatsysteem. In het jaar 1979 kwam het Amerikaanse National Academy of Sciences, onder leiding van Jule Charney, met een rapport dat stelt dat als de concentratie koolstofdioxide

verdubbelt in de atmosfeer, de temperatuur met 1.6 tot 4.5 graden stijgt. We zijn ruim 30 jaar verder en die spreiding van die schatting is niet afgenomen. Ik verwacht ook niet dat die kleiner wordt omdat we meer en meer terugkoppelingen beschouwen. Wel is er veel meer begrip over de terugkoppelingen, zoals het effect van wolken, van fijnstof en van biogeochemische cycli.

Ik pleit dan ook theoretisch onderzoek naar mechanismen van atmosfeer en oceaan-dynamica in een veranderend klimaat, en onderzoek naar voorspelbaarheid en terugkoppelingen in een veranderend klimaat. Het is vooral de verandering die leidt tot vernieuwing.

Het experiment

“Meten is weten”, is een gevleugelde uitspraak. Metingen zijn essentieel, zowel voor de constatering van klimaatverandering als voor de duiding ervan. Er is veel discussie over klimaatverandering. De fouten in het laatste IPCC rapport hebben die discussies op scherp gezet. Toch is het overduidelijk dat de temperatuur op aarde stijgt, de zeespiegel rijst en de ijskappen smelten. Ik vind de uitspraak van het 2^e IPCC rapport dat in 1996 uitkwam treffend *“The balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate.”* Vooral het opwarmen van de oceaan en de stijging van de zeespiegel is essentieel (Figuur 3). De atmosfeer kan niet veel warmte vasthouden, maar de opwarming van de oceaan en de manier waarop, de zogenaamde ventilatie van de oceaan, laat zien dat klimaatverandering plaatsvindt. We kunnen die opwarming alleen verklaren als we de uitstoot van broeikasgassen door de mens beschouwen naast natuurlijke variaties.



Figuur 3 Mondiaal gemiddelde verandering in zeespiegel, in mm ten op zichte van het gemiddelde van 1961 tot 1990 (Solomon et al., 2007)

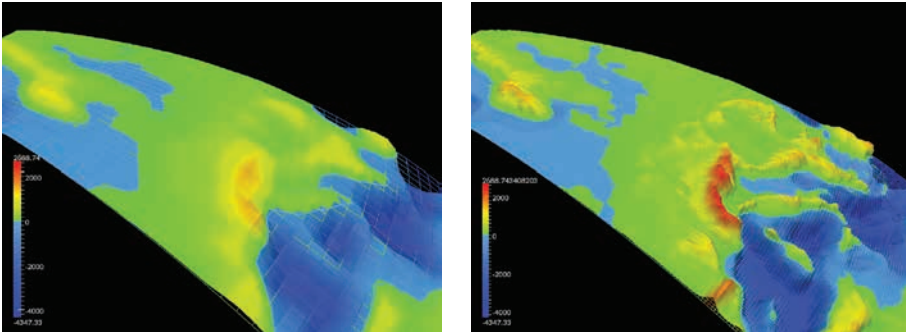
Er is maar 1 aarde en 1 unieke geschiedenis. Dat betekent dat het van groot belang is om goede metingen van het klimaat te verrichten. Elke meting telt. Systematische metingen met instrumenten zijn rond 1850 begonnen. Sindsdien zijn de meetinstrumenten veranderd en is de lokale situatie rond meetopstellingen veranderd. Zo kan bebouwing effect hebben op gemeten trends. Daar moeten rekening mee worden gehouden in langjarige metingen. Er zijn weinig plaatsen in de wereld waar heel secuur langjarig wordt gemeten. De Meteorologie en Luchtkwaliteit groep van Wageningen University doet dat op een meetveld op de Haarweg en recentelijk op de Veenkampen. De waarde van zulke locaties kan niet worden onderschat.

Voor klimaat zijn metingen van de oceaan van groot belang. Het eerder genoemde effect van de warmtecapaciteit van de oceaan maakt het ideaal om klimaatverandering te meten. Vooral ARGO boeien verdienen meer aandacht in het mondiale klimaatobservatiesysteem. Met deze boeien kan efficiënt temperatuur en zoutgehalte tot diep in de oceaan gemeten worden. Samen met de straling aan de top van de atmosfeer verkregen met satellietenmetingen, kan met deze metingen daadwerkelijk klimaatgevoeligheid bepaald worden. Het geeft ook data om modellen mee te initialiseren voor langjarige voorspellingen.

De simulatie

De eerder besproken theorie heeft zijn limieten. Een voorbeeld is de beschrijving van een ontwikkelende storm. Kleine variaties in de straalstroom op grote hoogte van meer dan 10 km kunnen groeien. De straalstroom gaat golven vertonen, met golflengtes van honderden tot duizenden kilometers. Ook deze golven kunnen gaan breken, net als golven op het strand, en dat uit zich vaak in een storm. Als dat gebeurt dan geldt de theorie die gebruikt maakt van storingsrekening en linearisatie van de vergelijkingen niet meer. Ook in de tropen zijn er beperkingen aan de theorie. De geldende natuurkundige formuleringen zijn niet meer analytisch op te lossen. Met computers kunnen deze vergelijkingen wel numeriek worden opgelost. De dagelijkse weersverwachting is een product daarvan, evenals de klimaatprojecties.

Weer- en klimaatmodellen gebruiken de basiswetten van de fysica. Ze doen dat op een raster van punten dat verdeeld is over de aarde. Een poging tot numeriek weer voorspellen is al in 1922 door Richardson gepubliceerd, maar vooral na de 2^e wereldoorlog zijn technieken verder ontwikkeld. Hoe fijner het raster, des te beter de stromingen gerepresenteerd zijn. Zelfs met de krachtigste supercomputers beperken huidige klimaatmodellen zich tot een raster van ongeveer 150 bij 150 km. Figuur 4 geeft een indicatie van het oplossend vermogen van die modellen.



Figuur 4 Illustratie van oplossend vermogen van klimaatmodellen (links, raster van ongeveer 150 bij 150 km) en weermodellen (rechts, raster van ongeveer 20 bij 20 km)

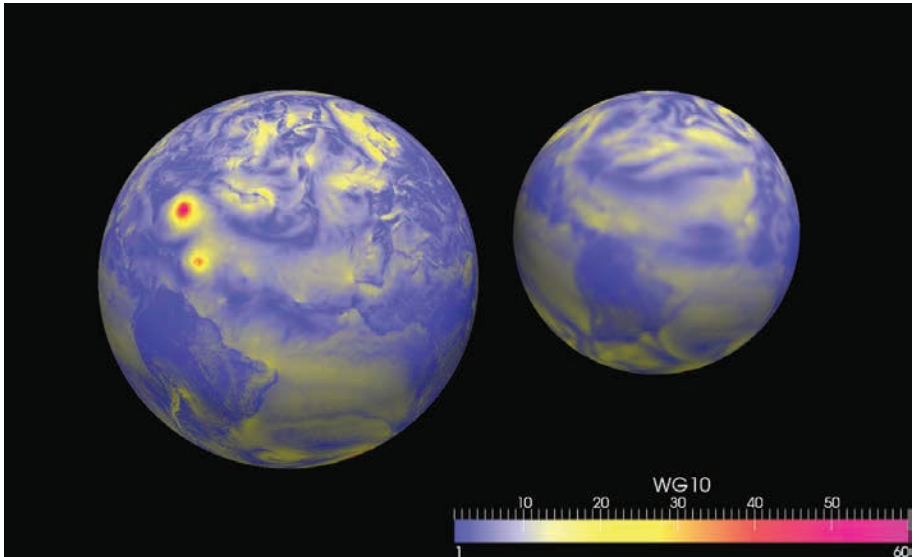
Dat betekent dat de buien zoals die op de buienradar te zien zijn niet expliciet berekend worden. Het blijkt ook dat systematische fouten in de modellen groot zijn. Een systematische fout in de temperatuur van een paar graden is niet bijzonder. De fout is dus van dezelfde orde als het signaal van klimaatverandering bij een verdubbeling van CO_2 . De consequentie is dat klimaatmodellen nog niet klaar zijn om rechtstreeks gekoppeld te worden aan klimaatimpact modellen, zoals voor watermanagement of landbouw.

Ondanks systematische fouten hebben modellen toegevoegde waarde. Klimaatmodellen worden vaak gebruikt om hypothesen te ontwikkelen over klimaatvariabiliteit en klimaatverandering. Ze zijn een soort klokwerk waarin al onze kennis is verzameld. Je kunt een radertje vervangen of aanpassen en zien hoe de klok gaat draaien. Zo kun je de gevoeligheid voor veranderingen in CO_2 of zonnestraling berekenen. Maar je kunt er ook weer en klimaat mee voorspellen.

Het is moeilijk om modellen te valideren. Er is maar 1 unieke aarde met 1 geschiedenis en er is dus geen ruimte voor experimenteren. Het weer wordt echter elke dag voorspeld en elke dag wordt die voorspelling geverifieerd. Het is een logische stap om een weermodel toe te passen voor klimaat. Snelle terugkoppelingen, die samenhangen met wolken en straling, zijn in het weermodel van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) goed gevalideerd. Voor klimaat moeten ook langzame terugkoppelingen beschouwd worden, voornamelijk processen in de oceaan. Het EC-Earth samenwerkingsverband in Europa brengt deze aspecten samen. EC-Earth is uniek omdat het gebaseerd is op het beste weerspelmodel ter wereld (dat van het ECMWF), het kan makkelijk op een fijn raster het klimaat simuleren en is geoptimaliseerd voor voorspellingen. Figuur 5 geeft een

voorbeeld van een simulatie van windsnelheid in EC-Earth met een grof raster rechts en een fijn raster links. De simulatie links is realistischer, met zelfs ontwikkelende orkanen.

Modellen zijn dermate belangrijk voor klimaatonderzoek dat verminderen van de systematische fouten essentieel is. De eenvoudigste manier is om de resolutie te verhogen. Dat gebeurt automatisch als computers krachtiger worden, maar dat is niet genoeg. Door de terugkoppelingen in de modellen te analyseren en te vergelijken met waarnemingen kunnen modellen op een procesmatige manier verbeterd worden.



Figuur 5 Windsnelheid in 2 verschillende EC-Earth simulaties, links met een raster van 20 bij 20 km (T799 spectraal), rechts met een raster van 150 bij 150 km (T159 spectraal)

Verhalen van weer

Tot nu toe is niet teruggekomen op het mannetje Regenpiet. Er is een reden om daarmee te starten in de Inleiding. Dat heeft te maken met hoe klimaatinformatie over te dragen en hoe om te gaan met onzekerheden in de klimaatwetenschap. De drie traditionele fundamenteën zijn niet meer voldoende. Klimaat is een maatschappelijk onderwerp van discussie geworden. Die discussie gaat samen met grote vragen, zoals overwegingen over verdeling van middelen in de wereld. Dat hebben klimaatonderhandelingen in Kyoto, Kopenhagen en recentelijk in Durban duidelijk gemaakt. In Nederland is niet alleen terugdringen van broeikasgassen belangrijk,

het gaat ook om aanpassing aan klimaatverandering. Het besef dat ons land kwetsbaar is voor wateroverlast leidt tot grote ingrepen in de ruimtelijke ordening.

Problemen die samenhangen met klimaat en het nog complexere duurzaamheid zijn niet op te lossen met alleen wiskunde, natuurkunde en modelsimulaties. Er is een verregaande koppeling van natuurwetenschappen met maatschappijwetenschappen en met economie. Door de koppeling worden onzekerheden nog groter. Hoe kan wetenschappelijke informatie over het klimaat, omgeven met zoveel onzekerheden, effectief worden overgedragen zodat het nuttig gebruikt kan worden om ons voor te bereiden op het klimaat van de toekomst?

Vaak wordt een lineair model gebruikt. Klimaatmodellen geven een spreiding aan mogelijke uitkomsten, die worden gevoed aan modellen van watermanagement, landbouw, transport of andere sectoren. Vervolgens wordt een kosten-baten analyse toegepast en neemt men een rationele beslissing. Deze werkwijze, dat ook door IPCC wordt gevolgd, heeft grote beperkingen. Onzekerheden stapelen zich op en zijn niet consistent. De onzekerheden die in socio-economische modellen worden gebruikt om verschillende emissiescenario's te maken zijn van andere aard en de formulering ervan heeft een ander doel dan de manier van onzekerheden representeren in klimaatmodellen. Zelfs al zou dit wel consistent zijn, dan is de waarde nog steeds beperkt. We kunnen namelijk geen accurate en betrouwbare probabilistische klimaatvoorspellingen maken, afgezien van de trend op grote ruimtelijke schaal. De titel van deze oratie is dan ook niet 'voorspellingen van weer in de toekomst', maar 'verhalen van weer in de toekomst'.

Probabilistische voorspellingen bevatten nuttige informatie als ze betrouwbaar en accuraat zijn. Omdat dat voor het klimaat niet het geval is en onzekerheden groot zijn, is het effectiever om scenario's te gebruiken om informatie over te dragen. Scenario-denken heeft al een lange geschiedenis. Een rapport van de Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid (van Asselt et al, Uit Zicht) noemt een essay van H.G. Wells uit 1902. H.G. Wells is bekend van *'The War of the Worlds'*, een bekend boek dat verfilmd is. Zijn essay heet *'The Discovery of the Future'*. Hij onderscheidt mensen die terug kijken en die vooruit kijken. Vooral de laatste bevalt hem: ze zijn constructief, gebruiken kennis van het heden om te gebruiken voor toekomst. Deze gedachtegang wordt hieronder uitgewerkt.

Een scenario beschrijft systematisch een mogelijke toekomst, met actors en een verhaallijn, net zoals een filmscenario. In dat scenario wordt bestaande kennis gebruikt. Dat kennis over het weer uit eigen ervaring herkenbaar en dus effectief over te

dragen is blijkt uit het versje van mannetje Regenpiet. Voor klimaatscenario's kunnen we hetzelfde doen met onze wetenschappelijke kennis. Het gaat in dat verhaal vooral over weer, minder dan over het abstracte klimaat. Dat verhaal over het weer van de toekomst begint met een verhaal over het weer van nu.

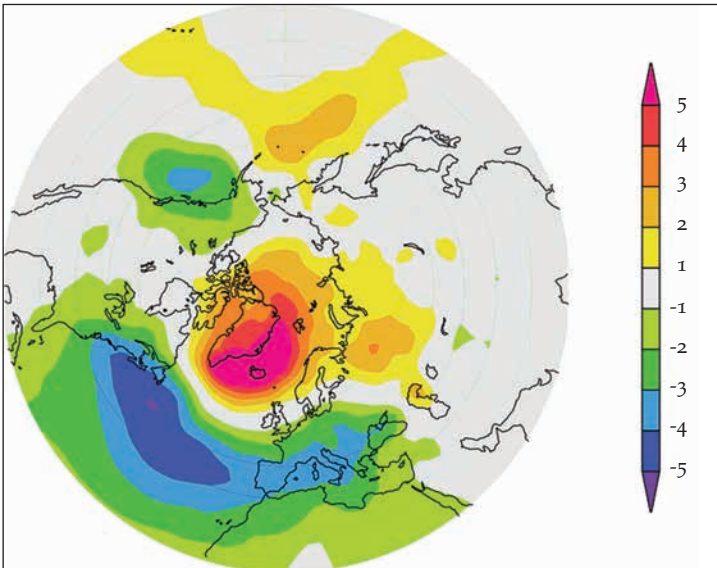
Het weer van nu

We herinneren ons vooral weersextremen die een grote impact hebben. Die zijn relevant, want ze laten de kwetsbaarheid van de maatschappij voor weer zien. De extreem koude winter van 1963, de droge en warme zomer van 1976, de sneeuw van de afgelopen twee winters en de regen en stormen van deze maand zijn goede voorbeelden. Ook professioneel worden weersextremen uit het recente verleden gebruikt voor strategische planning. Er wordt nog steeds naar 1963 gekeken bij het plannen van de capaciteit van aardgasleverantie. Hydrologen gebruiken het droge jaar 1976 als standaard jaar om robuustheid voor droogte te testen en de wateropzet van de storm van 1953 is gebruikt om de norm voor veiligheid van onze kust te definiëren.

Klimaatverandering door toename van concentratie van broeikasgassen is nauwelijks merkbaar. De dag tot dag variaties en ook de jaar tot jaar variaties zijn veel sterker dan het effect van toename van broeikasgassen. Het besef dat natuurlijke variaties op de lokale schaal veel groter zijn dan de langzame trend, zeker het komende decennium, betekent dat we met die variaties rekening moeten houden. We moeten ze adequaat en consistent beschrijven in het licht van een langzaam veranderende achtergrond. Het eerste hoofdstuk van het verhaal over weer van de toekomst gaat daarom over weer van nu.

De winters van 2009/2010 en 2010/2011 werden gekenmerkt door veel sneeuw en relatief koud weer. Dat kan worden begrepen door variaties in luchtdruk te analyseren. In de Euro-Atlantische regio is er een terugkerend patroon van hoge en lage luchtdruk, de Noord Atlantische Oscillatie. Dat patroon beschrijft de variatie in luchtdruk van het hoge drukgebied boven de Azoren en het lage drukgebied boven IJsland. Dat drukverschil bepaalt voor een groot deel de temperatuur in Nederland in de winter. Het patroon zag er beide winters precies hetzelfde uit. Het drukverschil was erg klein, wat minder westenwind betekent. Het is onbekend hoe de NAO gaat veranderen, maar daar ligt dus vooral de vraag die gesteld moet worden (Figuur 6).

Een ander voorbeeld is de zomer van 2010. Er was een hittegolf in Rusland en er waren catastrofale overstromingen in Pakistan. Die fenomenen waren gekoppeld en dat had te maken met een staande golf in de straalstroom, waardoor hoge druk boven west Rusland ontstond en er lage druk boven de bergen van Pakistan was.



Figuur 6 De afwijking van de luchtdruk op zeeniveau (hPa) in de winter (januari en december) van 2010 ten opzichte van de gemiddelde luchtdruk in de winter

Beide voorbeelden geven aan hoe grootschalige dynamica lokaal extreem weer bepaalt. Met de kennis over de dynamische meteorologie en over lokale terugkoppelingen kunnen die weersextremen geduid worden.

Attributie van weerextremen

Het is belangrijk weerfenomenen te beschouwen in het licht van een langzaam opwarmende atmosfeer. Vaak wordt gevraagd of een bepaalde extreme weersituatie door het broeikas effect komt. Omdat er maar 1 Aarde is waarop het klimaat verandert door menselijke invloed, maar waar ook van nature variaties plaatsvinden, is dat moeilijk vast te stellen. Het weer is 1 realisatie van het klimaat. Een weersextreem zegt niets over de verandering van de statistische verdeling die het klimaat beschrijft. Wel kan gesteld worden hoe zeldzaam een extreme weersituatie is waarin wel of niet rekening gehouden wordt met een trend van een opwarmende atmosfeer.

De toekenning van individuele weerfenomenen aan natuurlijke variaties of aan menselijke handelen, of een combinatie daarvan is hoofdstuk 2 van het verhaal. Modellen zijn nodig om het onderscheid te maken. Door simulaties met en zonder CO₂ verandering te maken kan onderscheid gemaakt worden. De waarnemingen worden beter gevolgd met verandering in broeikasgassen. Met nieuwe methodes kan

zelfs de “Fraction of Attributable Risk” van een individueel weerfenomeen worden uitgerekend. De techniek lijkt op het maken van een ensemble seizoensverwachting met en zonder het effect van CO₂ stijging. Het risico op de extreem warme zomer in 2003 was hoger door opwarmen van het klimaat door toedoen van de mens. Voor de hittegolf in Rusland in 2010 is dat niet duidelijk omdat in de regio geen langzame temperatuurtrend is. Dat is relevante informatie, ook met het oog op adaptatie voor klimaatverandering. Die toekenning, of attributie, is afhankelijk van het vermogen van modellen om natuurlijke klimaatvariaties goed te simuleren. Modellen als EC-Earth, die gebaseerd zijn op operationele numerieke weervoorspelmodellen, zijn geschikt omdat de versies met een fijn raster weerfenomenen kunnen simuleren in tegenstelling tot de meeste klimaatmodellen.

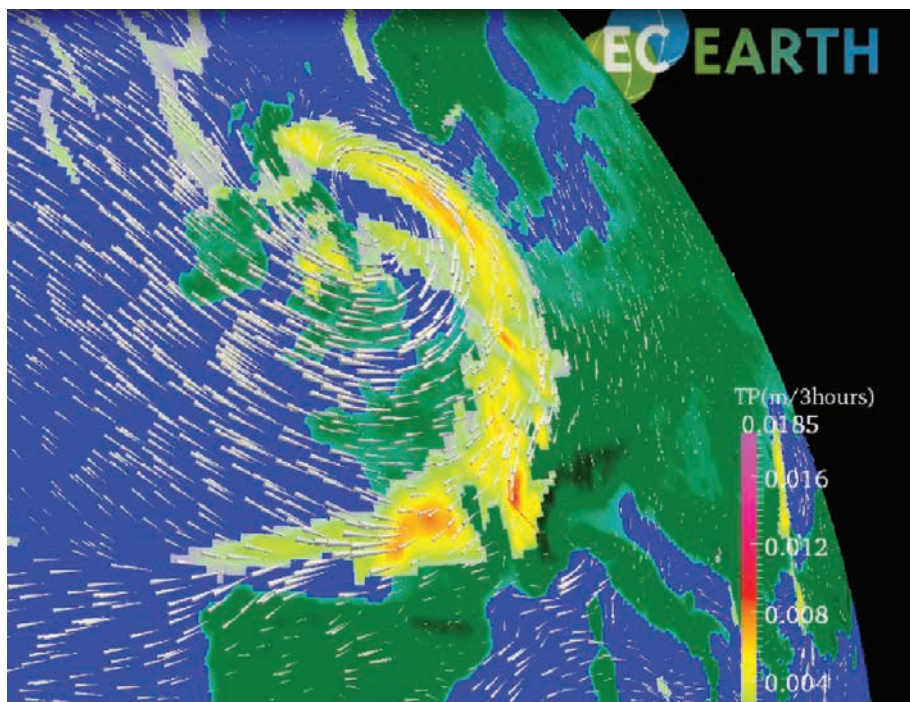
Weer in de toekomst

Het verhaal van weer in de toekomst heeft nu 2 hoofdstukken die over huidig weer gaan. Een natuurkundige beschrijving van fenomenen, in een opwarmend klimaat, en een statistische duiding van de rol van de mens en van natuurlijke klimaatvariaties bij het optreden van weerextremen. Het weer van 2050 voorspellen is onmogelijk, maar een beschrijving van een warme zomer of een winter in een warmer klimaat kan wel gemaakt worden.

Het is niet eenvoudig weer van de toekomst te simuleren. Op het KNMI wordt het Future Weather project uitgevoerd, waarin met EC-Earth echt weer van de toekomst gesimuleerd wordt. We gebruiken hetzelfde model dat weermannen gebruiken om weer van nu mee te voorspellen, maar schrijven een hogere zeewatertemperatuur, een hogere CO₂ concentratie en ander landgebruik voor. We zijn dus de radertjes van de klok aan het veranderen.

De resultaten van zulke simulaties zijn herkenbaar met bekende synoptische patronen, zoals ontwikkelende depressies (Figuur 7). We willen met deze simulaties leren hoe weersystemen ontwikkelen en hoe variabiliteit van uur tot uur en van jaar tot jaar eruit ziet in een warmer klimaat. De simulaties leveren ook intern fysisch consistente variabiliteit op. Voor veel toepassingen is dat van groot belang. Een bekend voorbeeld is de consistentie tussen neerslag dat valt in het stroomgebied van de Rijn en de stormopzet bij Hoek van Holland. Dat is relevant voor de Maeslantkering bij Rotterdam die moet sluiten als de wateropzet in de Noordzee hoog is, maar open moet als er hoge afvoer van de grote rivieren is. We kunnen nu simuleren hoe zulke fenomenen zich gedragen in een warmer klimaat. Helaas is een model als EC-Earth zo complex, dat supercomputers nodig zijn. Er kunnen niet veel simulaties gedaan worden om een goede statistische beschrijving te maken.

Wat voor weer van de toekomst levert het op? Op mondiale schaal wordt het warmer, vooral op de continenten, er gaat meer neerslag vallen in de tropen en op hoge breedtegraden en in de subtropen wordt het droger. De huidige KNMI klimaat-scenario's geven meer detail en laten zien dat Nederland meer opwarmt dan het wereldgemiddelde, het wordt natter in de winter en de extreme neerslag in de zomer neemt sterk toe. Bij het verhaal over weer van de toekomst hoort extra informatie. Bijvoorbeeld over het gedrag van opeenvolgende droge periodes, of hoe een relatief koude winter eruitziet als de aarde opwarmt. Zijn dat korte episodes van strenge kou of 1 lange periode van matige kou? Ook andere scenario's dan die van het broeikas-effect kunnen beschouwd worden. Bijvoorbeeld beschrijving van weer in Nederland als de thermohaline circulatie sterk afneemt of als heel west Nederland volgebouwd is. De precieze antwoorden zijn er nog niet, maar de middelen om tot zulke weers-beschrijvingen te komen zijn er wel.



Figuur 7 Voorbeeld van een sterke depressie over de Noordzee in een Future Weather simulatie van EC-Earth. De figuur laat windvectoren en totale neerslag (in kleuren) zien

De omgeving

Bij die 'storyline' of dat verhaal hoort ook het tijdsgewricht waarin het afspeelt en de actoren. De socio-economische toekomst is niet voorspelbaar, maar het weer speelt zich wel af tegen die achtergrond en het wordt erdoor beïnvloed, vooral via emissies van broeikasgassen en aerosolen en landgebruik. Samen met collega's van Planbureau van Leefomgeving werk ik met promovendi in projecten waarin het integrated assessment model IMAGE gebruikt wordt. Dat model simuleert de koppeling tussen maatschappij, de biosfeer en het klimaat. Een combinatie van Future Weather met EC-Earth en de beschrijving van relevante socio-economische factoren met IMAGE past goed bij het verhaal.

Tabel 1 Elementen van Verhaal van Toekomstig Weer

De omgeving: socio-economische factoren relevant voor klimaatverandering

Het weer van nu: fysische beschrijving van opgetreden weerfenomenen in een opwarmend klimaat

Het weer van nu: statistische duiding en attributie van opgetreden weerfenomenen

Het weer van de toekomst: fysische beschrijving van natuurlijke variabiliteit in een warmer klimaat

De discussie over hoe klimaat precies gaat veranderen en hoe groot klimaatgevoeligheid is werkt verlamdend, ook al is het wetenschappelijk heel relevant. Het verhaal van weer van de toekomst is geen probabilistische voorspelling, maar verzamelt onze wetenschappelijke kennis over het huidige weer, zowel synoptisch, fysisch als statistisch, het beschrijft opgetreden weerfenomenen en beschouwt ze in een klimaat dat al aan het veranderen is. Het verhaal is fysisch consistent en consistent met een veranderende socio-economische omgeving. Het verhaalt vooral over weersextremen waar de maatschappij kwetsbaar voor is. Het verhaalt over het gedrag van natuurlijke klimaatvariabiliteit in een warmer en vochtiger klimaat. Het doet dat in de vorm van scenario's die gebruikt kunnen worden om impacts van klimaatverandering te bestuderen.

Tenslotte moet dat verhaal ook verteld worden aan gebruikers van klimaatinformatie. Het eerste woord van de titel van deze oratie kan als een werkwoord en als een zelfstandig naamwoord opgevat worden. Kennis verplicht! Kennis is weinig waard als het niet gedeeld wordt. Het verhaal moet beeldend en begrijpelijk voor de ontvanger verteld worden. Het mannetje Regenpiet, dat verhaal begrijpen we allemaal. Het contact met de belanghebbende is essentieel om de juiste detaillering aan te brengen. Gebruikers van klimaatinformatie zijn zeer divers en er is dus niet 1 verhaal.

Het vereist inspanning van de ontvanger en van de klimaatonderzoeker om tot een goed verhaal te komen.

Een verhaal vertellen is ook belangrijk in het onderwijs. De illustratie van de wetten van de natuurkunde op weer van alledag is een manier om de fascinatie over de werking van de natuur over te brengen. Hetzelfde kan ook gedaan worden om het effect van klimaatverandering te illustreren. Wageningen University richt zich vooral op klimaatimpacts en weer nabij de grond. Beide worden sterk beïnvloed door het grootschalige dynamica van het klimaat. Ik wil dat versterken in het curriculum van Bodem, Water en Atmosfeer en de Master studies Earth and Environment en Climate Studies.

Dankwoord

Het verhaal is af, en het is tijd voor een dankwoord. Mijn aanstelling begon ruim anderhalf jaar geleden en sindsdien werk ik met veel plezier met studenten aan thesisprojecten, draag ik bij aan colleges en zijn onderzoekprojecten gestart. Ik kijk ernaar uit om verder te werken met de collega's van Meteorologie en Luchtkwaliteit en met die van Aardsysteemkunde en dank hun gastvrijheid. Ik bedank Prof. Bert Holtslag en Prof. Pavel Kabat in het in mij gestelde vertrouwen. Ik bedank Hein Haak en Frits Brouwer voor de steun van het KNMI om mij 1 dag in de week in Wageningen te laten werken. Mijn collega's van de Mondiaal Klimaat afdeling doen fantastisch werk en geven mij veel energie. Ook andere collega's, vooral die werken aan EC-Earth en aan het KNMInext project, de volgende generatie klimaatscenario's, dank ik voor de plezierige samenwerking en stimulans. Dat geldt ook voor de vele internationale contacten. Ik zie uit naar de ontwikkeling van promovendi en postdocs naar volwassen onderzoekers.

Ik ben geboren en getogen in Barneveld en dat heeft me gevormd. Ik ben blij dat mijn ouders hier kunnen zijn en dit mee mogen maken. Zoiets gebeurt niet vaak in de familie Hazeleger.

Ik heb kunnen profiteren van de democratisering van het onderwijs en heb van mijn interesse en studie mijn werk kunnen maken. Er zijn velen die bijgedragen hebben langs die weg. Binnen het tijdsbestek kan ik niet iedereen bedanken, maar een paar mensen wil ik noemen. Al sinds mijn promotietijd werk ik met Sybren Drijfhout, van wie ik veel geleerd heb over het doen van klimaatonderzoek. Op een afstand heb ik in een paar cruciale fases over mijn werk en ontwikkeling gereflecteerd met Will de Ruijter. Mijn periode in New York, bij Columbia University, hebben mij ook gevormd. Het werk met Richard Seager en Mark Cane heeft mij als onderzoeker volwassen gemaakt en ook van Mark heb ik wijze adviezen gehad.

De balans van werk, vrije tijd en privéleven is van groot belang. Het relativeren met vrienden bij een maaltijd en een drankje, een potje volleybal, vooral de nabespreking, dat hoort er allemaal bij om de balans te houden. Maar natuurlijk gaat het hier vooral over ons gezin. Daar verdient dit dankwoord mee te eindigen. Nathalie, het was al goed, maar vooral sinds we Luisa in ons midden hebben kan ik mijn geluk niet op.

Laten we het geluk gaan vieren.

Mijnheer de rector, dames en heren – Ik dank U allen voor Uw aandacht

Ik heb gezegd

Referenties

van Asselt M. et al., ed., 2010. *Uit Zicht: Toekomst verkennen met beleid*. WRR. Amsterdam Univ. Press, Den Haag, 288 pp.

Charney, J.G. et al., 1979. *Carbon dioxide and climate: a scientific assessment*. National Academy of Sciences, 1979, 22 pp.

Hazeleger et al., 2010. *EC-Earth: A seamless Earth-System Prediction Approach in Action*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1357-1363.

Houghton, J.T. et al., ed., 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 0-521-56433-6 (pb: 0-521-56436-0).

Richardson, L.F., 1922. *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 1922, 236 pp. Reprinted by Dover Publications, New York, 1965, with a new Introduction by Sydney Chapman, 236 pp.

Solomon, S. et al., ed., 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 996 pp.

Schmidt, M.G., *Ziezo, de 347 kinderversjes*, ISBN 9045104245, Querido, 296 pp.

Wells, H.G., 1902. *Discovery of the Future*, *Nature* 65, pp 326-331.



Prof. Dr. ir. Wilco Hazeleger

'Weer is vaak het gesprek van de dag. Klimaat is het gemiddelde van het weer. Het klimaat is abstracter dan weer en klimaatveranderingen zijn subtiel. Het blijkt moeilijk om informatie over klimaatverandering effectief te gebruiken in sectoren die kwetsbaar zijn voor klimaatverandering. Er wordt voorgesteld een verhaallijn te ontwikkelen van veranderingen in weerfenomenen. Elementen daarin zijn analogen van verleden weerextremen, het plaatsen van huidige weerfenomenen in de context van veranderend klimaat en beschrijvingen van weercondities in een toekomstig klimaat.'