Neuman en Charney de eerste numerieke integratie uitvoerden in Aberdeen Maryland, een stadje dat nu op het voorspelde pad van Sandy ligt. Er wordt gerefereerd aan het "Amerikaanse" model (dat is de GFS, er zijn vele Amerikaanse modellen) dat z'n bijvoeglijke naam krijgt vanwege het Europese model. Van Maine tot en met Virginia is de noodtoestand afgekondigd. Enkele TV-meteorologen gaan in discussie over de vraag of dit nog wel een orkaan mag worden genoemd. In feite is Sandy al enkele dagen doende om zich te transformeren van een orkaan (dat was het op Jamaica, Cuba en de Bahama's, ruim 50 doden) tot een depressie van de gematigde breedte. Dat leidt onder meer tot verlies van convectie nabij het centrum, en tot een enorme schaalvergroting van het systeem, en potentieel dus schaalvergroting van de aanstaande ramp. Sandy is nu al ruim 5X groter dan 3 dagen terug. Bij een druk van 951 mbar past overigens een veel sterkere wind dan in de "orkaan" die we nu hebben (slechts 75 mph, categorie I, dus net aan Beaufort 12). Maar de afstand waarover we tropische windkracht hebben (Beaufort 8 of hoger) heeft inmiddels een straal van 450 mijl, dus heel veel groter dan een gewoon klein orkaantje. Eén TV-meteoroloog meent dat het goed is dat we dit een orkaan blijven noemen want het zendt de verkeerde boodschap naar het publiek als we ineens zeggen dat het geen orkaan meer is (valt het dan mee?), want de windkracht is die van een orkaan, en nu over een veel groter gebied. Niet alleen hen die nabij het landfall punt wonen zullen er last van hebben. Een andere TV-meteoroloog haalt de verzekering er vast bij. Door het een orkaan te noemen wordt de schade door sommige verzekeringen NIET VERGOED, want men heeft clausules voor het uitsluiten van de zogenaamde 'act of God', meestal aardbevingen, orkanen, tornado's e.d.. Als men dit allemaal overweegt kan het knap ingewikkeld worden, zowel voor de berichtgever als voor het kijkende publiek. Een derde meteoroloog vond dat de track van de orkaan (zie figuur) op een gespiegelde S leek. De S van Sandy, of de S van Spectaculair merkwaardig, want er wordt veel op gewezen dat zoiets (de linkse hoek) als dit nog nooit is voorgekomen. Als kenner van analogen moet ik wel glimlachen. Een vierde meteoroloog doet de suggestie dat we een gewone winterse 'Nor-easter' krijgen, maar met een orkaan in het centrum.
De schade zal in de gebruikelijke categorieën uiteenvallen. Aan de kust is er overstromingsgevaar vanuit zee door langdurige harde aanlandige wind. Men vreest overstromingen in de stad New York, want dat ligt qua kustvorm in een trechter en dan ook nog eens aan de rechterkant van het systeem waar de wind het sterkst is. Dan is er uitgebreide (zoetwater) overstroming door de grote regenval, die uiteen kan lopen van 4 inches (als je geluk hebt met de regenbanden) tot 10 inches. Mocht ik het laatste krijgen dan sluit ik niet uit dat we natte voeten krijgen, ik bedoel in huis. Na enkele inches staat mijn tuin al blank, en hoeveel meer kan je dan nog aan? Wat de neerslag betreft ook deze merkwaardigheid: men verwacht tot 2.5 voet sneeuw in de bergjes van West Virginia. Een tropisch system dat intussen een hoop koude lucht kan aanzuigen en fronten heeft gevormd. De derde en laatste categorie van schade is door de wind. We krijgen in DC windstoten tot 75 mph (10-minuut gemiddelden van 45 mph). Bij ieder zomers buitje, of iedere winterse sneeuwval breken er takken en bomen. Veel bomen staan nog volop in kletsnat blad, dat maakt het veel moeilijker om Beaufort 7 of hoger te doorstaan zonder dat takken afbreken. Met alle bedradingen bovengronds leidt dat geheid tot stroomuitval en dan begint de trammelant pas echt nadat dit weersysteem is uitgewoed. Dan hebben we dus vele grote steden zonder stroom, en er werkt niet veel tegenwoordig zonder stroom. Wij zijn bij mij thuis weer op gas overgegaan (voor het koken) nadat de orkaan Isabelle in 2003 ons 5.5 dagen stroom onthield.

Nou, ik doe deze brief gauw op de post, zodat jullie dit te zijner tijd kunnen lezen. Hoe een en ander afloopt weet ik niet, we hopen op dit moment dan maar het beste, al zal niet iedereen aan het front het overleven. Het wordt pas erg als die linkse hoek wordt uitgevoerd, en dat is maandagochtend vroeg. Daarna is het tot woensdagochtend vroeg een noodtoestand.

De kalender, het jaar, de klimatologie en langetermijn-verwachtingen (deel 2)

Henk de Bruin (freelancer) en Huug van den Dool (CPC/NCEP, USA)

In het vorige nummer van Meteorologica werd de discrepantie besproken tussen de Gregoriaanse kalender en de jaarlijkse gang die uit gemeten temperatuurreeks (T) van Stockholm[1] kan worden afgeleid (van den Dool en de Bruin, 2012). Uit dat artikel blijkt dat de klimatologische temperatuur (T) op 15 april een springerig verloop laat zien dat zich elke 4 jaar herhaalt. Verder laat het maandgemiddelde voor april een duidelijke positieve trend zien voor de periode 1900-2100. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat de inkomende zonnestraling aan de top van de atmosfeer, Q_{TOA}, de 'drijvende kracht' voor de jaarlijkse gang van de T is, en we vermoeden dat er klimatologisch een sterk verband is tussen T en Q_{TOA}. Geheel onafhankelijk onderzochten Stine en Huybers (2012) dit verband boven de oceanen en boven land. In dit artikel beschouwen we enkele aspecten van de jaarlijkse gang van Q_{TOA}.

Straling aan de top van de atmosfeer

De aarde draait in een ellipsvormige baan om de zon in het ecliptisch vlak (de ecliptica). Dit vlak maakt een hoek $\varepsilon \approx 23.5^o$ met het vlak van de hemelequator. Hierdoor varieert per volledige omloop de *declinatie* van de zon, dat wil zeggen de hoek (δ) van de zon ten noorden (+) of ten zuiden (-) van de hemelequator tussen + en – 23.5^o. De twee vlakken snijden elkaar in een lijn die door het lente- en het herfstpunt loopt. Een tropisch jaar is gedefinieerd als de tijd die de zon nodig heeft om terug te keren in het lentepunt na één omloop. Dat is 365.242 dagen. Per definitie staat de aarde het dichtst bij de zon als deze in het *perihelium* staat.

Tegenwoordig is dat begin januari. De tijd die nodig is om in het perihelium terug te keren noemt men het *anomalistische jaar*. Dit is gemiddeld 365.259 dagen, dus dat is iets langer dan het tropisch jaar. Dat komt doordat het perihelium zich ten opzichte van het lentepunt langzaam verplaatst in dezelfde richting als de aarde in haar baan om de zon. Omdat 'een jaar' niet een geheel aantal dagen omvat zal op een zekere datum vastgesteld door elke willekeurige gehanteerde kalender, Q_{TOA} van jaar op jaar niet exact gelijk zijn. Dit hebben we verderop nader onderzocht voor de Gregoriaanse kalender.

In verschillende studieboeken (bijvoorbeeld Sellers, 1965) staan de volgende formules voor Q_{TOA}(W/m^2). Op een gegeven tijdstip geldt

$$Q_{TOA} = I_0 \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \cos\theta_z \qquad (1)$$

waarin r de afstand aarde-zon is, r_0 het gemiddelde van r, I_0 de zonneconstante, die we hier voor het gemak constant veronderstellen en gelijk stellen aan 1366 W/m^2, en θ_z de zenithoek. Dit is de hoek die de zon maakt met de verticaal. De zenithoek hangt af van de tijd (jaar, maand, dag en uur) en van de geografische breedte. De zonshoogte α is gelijk aan 90º- θ_z. De zenithoek voldoet aan de relatie:

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \\ + \cos\delta\cos\phi\cos\omega_s \qquad (2)$$

Hierin is δ de declinatie van de zon, ϕ de geografische breedte (positief op noordelijk halfrond) en ω_s is de uurhoek. Deze is gedefinieerd als de hoek waarover de aarde moet worden gedraaid om de meridiaan ter plaatse direct onder de zon te brengen. De uurhoek is negatief in de morgen en positief in de middag en gelijk aan 0 als de zon het hoogst staat. Dan staat dus de meridiaan "onder de zon" en derhalve is dan $\omega_s = 0$, is θ_z minimaal en de zonshoogte maximaal voor de betreffende dag. Deze laatste is dan gelijk aan α_x =90º-(ϕ - δ). Q_{TOA} is dan natuurlijk ook maximaal en wordt dan gegeven door:

$$Q_{TOAX} = \qquad (3)$$
$$= I_0\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 [\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi]$$
$$= I_0\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \cos(\delta - \phi)$$

Merk op dat het tijdstip van hoogste zonshoogte afhangt van de lokale tijdsrekening en de tijdsvereffening. Om δ en r te berekenen gebruiken we de procedures die gegeven zijn door Meeus (1979) die de lezer desgewenst kan controleren met behulp van [4]. Hierbij zijn δ en r een functie van de Juliaanse Dag (JD), en passen we de procedure toe in Meeus (1979) om JD uit de Gregoriaanse datum (jaar, maand, dag) te bepalen. Deze is ook te vinden in van den Dool en de Bruin (2012). In deze stap werd dag JD plus 0.5 gebruikt, wat overeen komt met 12 UTC. De procedures uit Meeus beschrijven ook het (kleine) verloop van het perihelium en ε, en ellipticiteit van de aardbaan als functie van JD.

Gebruikmakend van Meeus (1979) hebben we voor 1900-2100 grootheid Q_{TOAX} berekend voor ϕ = +50º en voor 15 april volgens onze Gregoriaanse kalender. De resultaten zijn geplot in figuur 1. Deze zijn analoog aan de figuren 2 en 3 uit ons vorige artikel. We zien een 'springerig jaar-op-jaarpatroon' terug en er is een duidelijke positieve trend. In dit voorbeeld voor 15 april over 1900-2100 is deze bijna 0.5 W/m^2 per jaar, geen kleinigheid. Deze resultaten zijn het gevolg van de keuze van onze kalender. Ze zijn het direct gevolg van het feit dat de maximale zonshoogte α_x voor 15 april van jaar op jaar niet constant is (figuur 2). In 2100, een eeuwjaar zonder schrikkeldag, wordt een en ander weer enigszins rechtgetrokken, dat is de werkwijze van de Gregoriaanse kalender. In het najaar wordt een vergelijkbaar resultaat verkregen, maar dan met een negatieve trend. Beschouwt men het jaargemiddelde van Q_{TOA} dan blijkt de trend klein te zijn, zie appendix in Stine en Huybers (2012).

Jaarlijkse gang van de inkomende zonnestraling

We beschouwen vervolgens in meer detail de jaarlijkse gang van Q_{TOA}. Voor dit doel gaan we over op etmaalgemiddelde waarden. Deze volgen uit integratie van (1) en (2) over de tijd N_d die de zon boven de horizon staat, wat leidt tot:

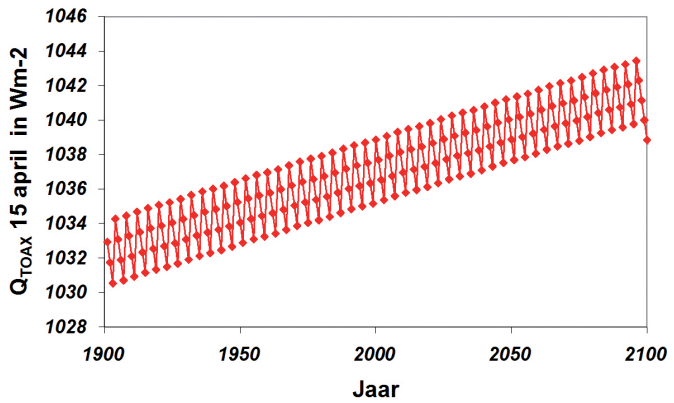
$$\overline{Q_{TOA}} = \frac{I_0}{\pi}\left(\frac{r_0}{r}\right)^2\left[\frac{N_d}{2}\sin\delta\sin\phi + \right. \\ \left. + \cos\delta\cos\phi\sin\left(\frac{N_d}{2}\right)\right] \qquad (4)$$

Hierin is $\overline{Q_{TOA}}$ de etmaalgemiddelde waarde van Q_{TOA}, waarbij gemiddeld wordt over 24 uur, dus de nachtwaarden die 0 zijn worden meegenomen. N_d is de daglengte uitgedrukt in rad, dat wil zeggen 24 uur = 2π rad. Misschien lijkt deze uitdrukking ingewikkeld, maar voor kleine waarden van N_d kan men (4) bij benadering schrijven als het product van Q_{TAOX} en de fractionele daglengte.

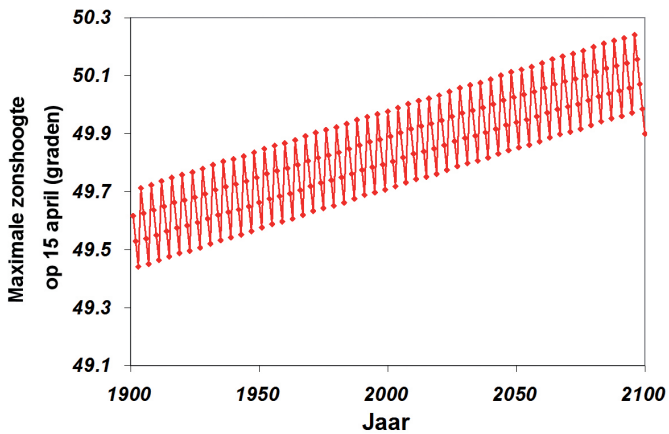
Voor 1750-2250 hebben wij met de procedures van Meeus (1979) $\overline{Q_{TOA}}$ berekend voor 50N en 50Z, alsmede de termen $(r_0/r)^2$ en

$$X = \frac{I_0}{\pi}\left[\frac{N_d}{2}\sin\delta\sin\phi + \right. \\ \left. + \cos\delta\cos\phi\sin\left(\frac{N_d}{2}\right)\right] \qquad (5)$$

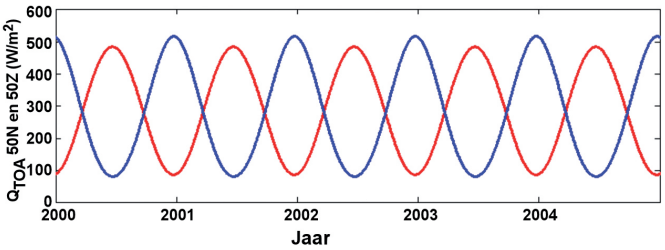
waaruit $\overline{Q_{TOA}}$ is opgebouwd. In figuur 3 is voor enkele jaren $\overline{Q_{TOA}}$ weergegeven, terwijl de r-term $(r_0/r)^2$ is geplot in



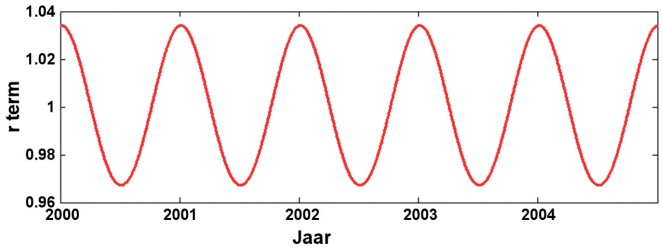
Figuur 1. De straling aan de top van de atmosfeer voor een locatie op 50 ºN, op 15 april op het tijdstip dat de zon het hoogst staat op die dag berekend voor 1900-2100 met de procedure van Meeus (1979).



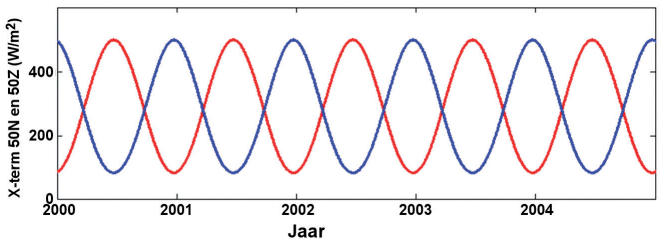
Figuur 2. De maximale zonshoogte op 15 april voor 1900-2100.



Figuur 3. Etmaalgemiddelde waarden van Q_{TOA} voor 2000-2005 en voor 50ºN (rood) en 50ºZ (blauw), berekend volgens Meeus (1979).



Figuur 4. De term $(r_0/r)^2$ per dag voor 2000-2005, berekend volgens Meeus (1979).



Figuur 5. De term X, zie formule (5), per dag voor 2000-2005 berekend volgens Meeus (1979) voor 50ºN (rood) en 50ºZ (blauw).

figuur 4. Deze laatste is onafhankelijk van de breedtegraad. We zien dat deze term varieert tussen ongeveer 1.035 en 0.965, wat betekent dat de effectieve zonneconstante varieert tussen ongeveer 1320 en 1410 W/m^2. Dit maakt dat de curven voor 50ºN en 50ºZ (figuur 3) op het oog een verschillende amplitude hebben. Voor de twee X-termen voor 50ºN en 50ºZ, getoond in figuur 5, verdwijnen de verschillen tussen 50ºN en 50ºZ vrijwel geheel. Doordat het perihelium langzaam voorwaarts beweegt verwachten we dat de r-term, die daarmee direct samenhangt (figuur 4) zich 'anomalistisch', dus 365.26 dagen, zal gedragen terwijl we verwachten dat de X-termen neigen naar 'tropisch' (365.24 dagen) gedrag. Dit hebben we onderzocht met een eenvoudige procedure, waarmee we met behulp van een spline functie door dagwaarden rondom elk jaarlijks maximum of minimum de gemiddelde tijd tussen twee opeenvolgende maxima of minima te bepalen. Op deze manier vinden we voor de r-term $(r_0/r)^2$ een 'jaarlengte' van 365.26 dagen. Dat is, zoals verwacht, dicht bij het anomalistische jaar. Voor de X-termen vinden we afgerond 365.24 voor zowel 50ºN en 50ºZ en dat is iets minder dan het tropisch jaar. Blijkbaar zit in de langjarige reeks van $\overline{Q_{TOA}}$ (dit is het product van de r- en X-term) zowel het anomalistisch en een tropisch jaar verborgen. Dat is van belang voor de klimatologie waarbij de afgeleide grootheden, zoals luchttemperatuur, worden beschouwd. Dan kunnen we niet meer eenvoudig de effecten van de r- en X-termen apart beschrijven en is men aangewezen op speciale, data-analyse technieken, een invers model dat uit waarnemingen van de temperatuur de termen in vergelijking (4) probeert te ontwarren, zo'n methode heeft de tweede auteur (H vd D) ontwikkeld.

Discussie

We hebben in dit deel 2 laten zien dat door het kalendereffect de inkomende zonne-straling aan de top van de atmosfeer een springerig jaar-op-jaar gedrag vertoont en een duidelijk positieve trend voor dagen in april voor de periode 1900-2100. Dit is een reëel, in principe meetbaar, effect dat correspondeert met het effect in de temperatuur dat we al zagen in deel I. Dit is een gevolg van de keuze van onze kalender en meer precies de discrepantie tussen het burgerlijk jaar en het fysisch jaar (waarvan er dan ook nog twee zijn). Omdat het jaar, hoe ook gedefinieerd, niet een geheel aantal dagen omvat zullen vergelijkbare effecten optreden bij elk andere kalender. Is dit erg voor klimatologen? Het antwoord is "nee", zolang men jaargemiddelden beschouwt, maar indien maand- of seizoensgemiddelden worden geanalyseerd spelen de kalendereffecten wel degelijk een rol, zoals aangetoond in deel 1. Bestudeert men bijvoorbeeld met klimaatmodellen effecten van verdubbeling van CO_2 voor 1900-2100 en wordt de zonpositie op een realistische wijze als randvoorwaarde opgelegd, dan zal men in april een opwaartse trend in de temperatuur vinden, zelfs in de controlerun zonder CO_2-toename. Als men klimaatmodellen onderling vergelijkt, zoals bijvoorbeeld gedaan wordt in het IPCC-CMIPS project waarbij 20 atmosfeer-oceaan gekoppelde klimaatmodellen worden vergeleken, dan moeten in deze modellen de zonpositie op eenzelfde wijze worden beschreven. Het is ons nog niet gelukt te achterhalen of dit ook het geval is. Wel weten we dat in het NCEP model de zonpositie correct wordt beschreven, en er een optie is om zelfs kleine variaties in de zonneconstante mee te nemen [2]. Hoe het zit met bijvoorbeeld de ERA40 data [3] hebben we nog niet kunnen achterhalen.

Het kalendereffect heeft ook invloed op de bewerking van waarnemingen. Een trend in Q_{TOA} moet terug te vinden zijn in lange meetreeksen, zie bijvoorbeeld de Stockholmreeks in van den Dool en de Bruin (2012) die ook deels op driemaal daagse waarnemingen was gebaseerd. Ook in Nederland begonnen klimatologische waarnemingen met driemaal daagse waarnemingen overdag. Men moet hier de tijdsvereffening in rekening brengen om driemaal daagse waarnemingen om te zetten in proxy 24 uur gemiddelden; dit is een studie op zichzelf. We vragen ons af of deze effecten zijn beschouwd bij het construeren van een temperatuurreeks voor centraal Nederland (van Ulden et al., 2009).

Dankwoord

De auteurs bedanken Joyce Bosmans (KNMI en IMAU) en dr. Yu-Tai Hou (NCEP) voor hun hulp.

Literatuur

Dool H. van den en H. de Bruin, 2012: De kalender, het jaar, de klimatologie en langetermijn-verwachtingen (deel 1), Meteorologica 21 nr 3, 21-25.

Stine, A., and P. Huybers, 2012: Changes in the seasonal cycle of temperature and atmospheric circulation. J. Climate. doi:10.1175/JCLI-D-11-00470.1, in press.

Meeus, J., 1979: Astronomical formulas for calculators, Monografie Vol. 4, Volkssterrenwacht Urania, 185 pp.

Sellers, W. D. 1965: Physical Climatology. University of Chicago Press. 272 pp.

Van Ulden, A. et al., 2009: The Construction of a Central Netherlands Temperature, KNMI WR2009-03

[1] het VSA-EXCEL pakket te vinden op www.ecy.wa.gov

[2] http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/wd51hd/vddoolpubs/solar_reconstruction.doc

[3] http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-40.

[1] Stockholm is een voorbeeld. Men vindt deze effecten in principe overal maar Stockholm (lange reeks, geschoonde gegevens, landklimaat) is zeer geschikt als voorbeeld.