

Het bewijs dat de mens de aarde opwarmt

Klimaat door foutte

Het is nu gemiddeld warmer dan ooit in de afgelopen duizend jaar. Deze claim vormt een belangrijke pijler onder het Kyoto-protocol over broeikasgas dat deze maand in werking treedt. De claim is vooral gebaseerd op de befaamde 'hockeystick', een in 1999 door Michael Mann en anderen gepubliceerde grafiek van het klimaat sinds het jaar 1000. Maar Manns hockeystick is een statistisch verzinzel, stellen de dissidenten Stephen McIntyre en Ross McKittrick. Hun strijd om de feiten over de opwarming van de aarde boven tafel te krijgen, werpt een bedenkelijk licht op de integriteit van het klimaatonderzoek *Marcel Crok*

staat weer op losse schroeven

verandert statistiek



Dit is de beroemde hockeystick-grafiek van Mann. De reconstructie loopt tot 1980. Te zien is dat zowel Manns (zwarte lijn) als McIntyre's reconstructie (groene lijn) in de 20e eeuw vrijwel gelijk lopen aan de gemeten temperatuur. De discussie ontstaat vooral over de 15e eeuw. McIntyre vindt veel hogere temperaturen in die eeuw zonder de fouten in Manns data en met conventionele Principal Component Analysis.

Er zijn weinig mensen die betwisten dat de aarde momenteel opwarmt. Er zijn wel mensen – zogeheten klimaatsceptici – die eraan twifelen of de huidige opwarming uniek is en of die veroorzaakt wordt door de mens. De sceptici zijn echter vrijwel allemaal buitenstaanders, die door de 'echte' klimaatonderzoekers verketterd worden.

De twee Canadese sceptici die de gangbare klimaatreconstructie willen ondermijnen voldoen aan alle vooroordelen: Ross McKittrick is hoogleraar economie en Stephen McIntyre werkt als consultant in de mijnbouw – een potentieel belangenconflict, zoals Mann graag benadrukt. De Amerikaan Michael Mann was eerste auteur van de twee befaamde hockeystick-publicaties in 1998 in *Nature* en in 1999 in *Geophysical Research Letters*, en is daardoor zo ongeveer de paus van het klimaatonderzoek geworden. *Scientific American* nam hem in 2002 op in de top 50 van visionaire wetenschappers.

Klimaatsceptici roeren zich vooral op internet, waar rijp, groen en warhoofdig vrijelijk z'n gang kan gaan. De (voornamelijk Nederlandse) klimaatonderzoekers die wij raadpleegden, deden het werk van de twee Canadezen dan ook af als niet overtuigend. Ook *Natuurwetenschap & Techniek* was aanvankelijk sceptisch over deze sceptici. Maar voorin-zage in een publicatie van McKittrick en McIntyre in *Geophysical Research Letters*, nota bene het vakblad waarin Mann z'n hockeystick publiceerde, plus de positieve reacties van de *referees* – de wetenschappelijke beoordelaars – trokken ons over de streep.

Ook gerenommeerde wetenschappelijke tijdschriften erkennen nu blijkbaar dat er een fors probleem is met de gangbare klimaatreconstructies, dus indirect ook met het bewijs dat de aarde juist door menselijke activiteit de laatste decennia dramatisch opwarmt. Voor wie dat wil vertalen in politiek beleid, zet dat ook het Kyoto-protocol op de tocht, waarin wereldwijd afspraken zijn gemaakt over verminderde uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen.

De twee spraakmakende publicaties van Mann *et al.* presenteren een temperatuurreconstructie van het noordelijk halfrond over de afgelopen duizend jaar. Vanaf het jaar duizend neemt de temperatuur van het noordelijk halfrond geleidelijk af (de steel van de hockeystick) om vervolgens vanaf 1900 sterk te stijgen (het blad). De suggestie die van de grafiek uitgaat is enorm: het wereldwijde klimaat zat in een dalende trend maar onder invloed van de mens is die trend wreed verstoord en omgezet in een sterke stijging.

Het 'enige' wat McIntyre en McKittrick ondernomen hebben, is een poging dit zeer vaak geciteerde onderzoek te reproduceren. Daarbij ontdekten ze fout op fout. Ze kwamen er bovendien achter dat niemand dit standaardwerk ooit heeft ge-

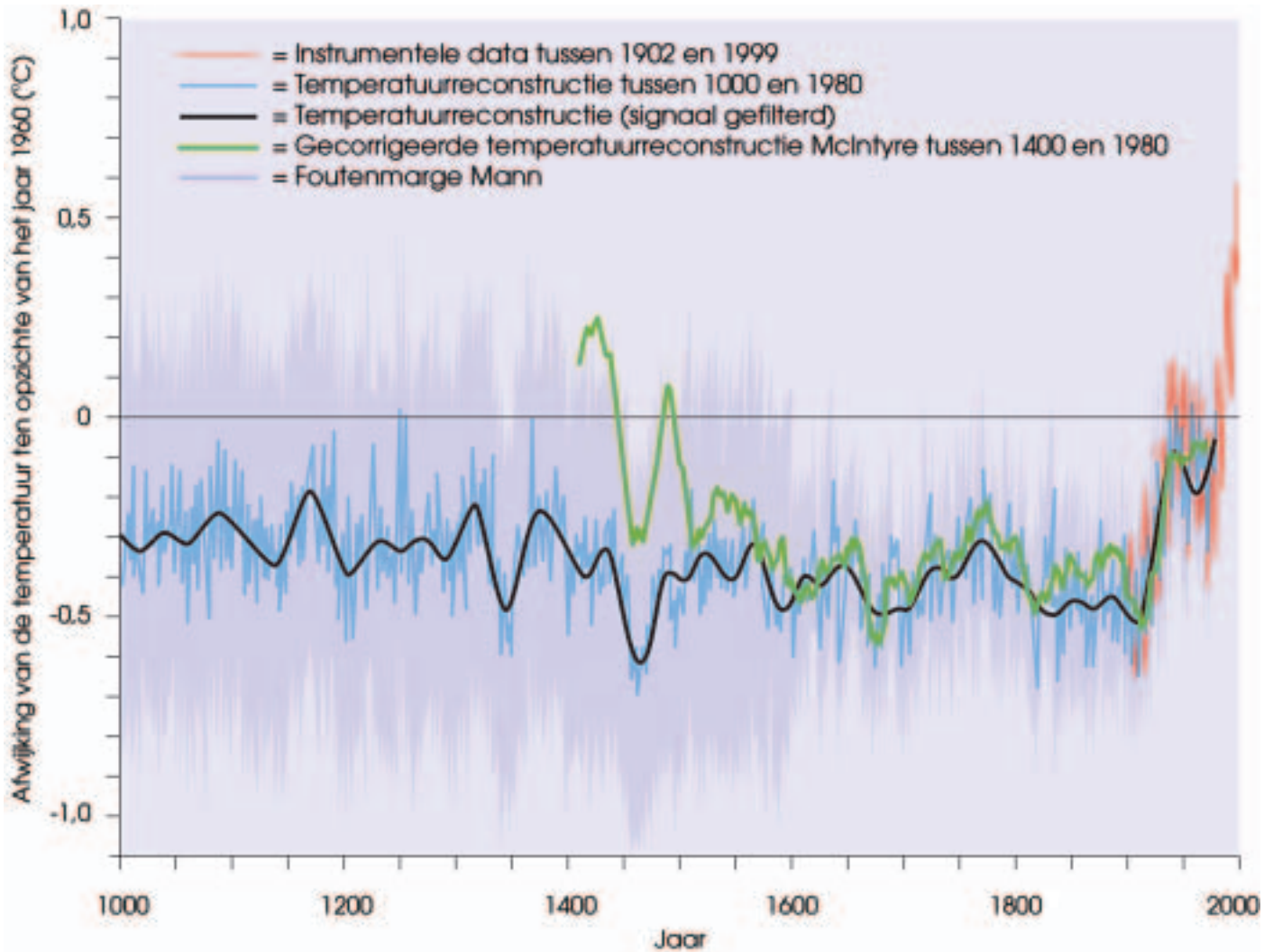
toetst. In hun reconstructie – op basis van in wezen dezelfde data – was het klimaat in de 15^e eeuw minstens zo warm als nu, waarmee de bodem valt uit het alarmerende scenario over door de mens veroorzaakte opwarming van de aarde.

De kritiek van de twee Canadezen is in eerste instantie puur technisch: Mann en zijn collega's hebben een bekende statistische methode om orde te scheppen in data met veel ruis – *Principal Component Analysis* (PCA) – misbruikt om te kunnen concluderen dat de huidige opwarming uniek is. 'Ruis' wil in dit geval zeggen: willekeurige variaties in allerlei indicatoren voor de temperatuur op een bepaalde plek op aarde, die niets over het klimaat als geheel zeggen.

Zelfs de door ons geraadpleegde specialisten overzagen niet onmiddellijk de consequenties van Mann's slordige en excentrieke omgang met de data, dus het is denkbaar dat hij gewoon niet door had wat hij fout deed. Maar sinds zijn hockeystick-publicaties in 1998 en 1999 weigert hij nog steeds volledige openheid van zaken te geven over zijn data-verwerking en wijst hij elke kritiek van de hand.

De conclusie van McIntyre en McKittrick na twee jaar polemieken met Mann en andere onderzoekers is niet mals: er is veel mis in het klimaatonderzoek. Vindt McIntyre dat Mann en zijn mede-auteurs fraude hebben gepleegd? "Dat is een te zware juridische term. Anderzijds hoeven we Mann, Bradley en Hughes ook niet te sparen. Ze hebben de huidige opwarming dramatischer afgeschilderd ten opzichte van het verleden dan die in werkelijkheid is. Ze hebben genoten van de media-aandacht en niet te vergeten geprofiteerd van de onderzoeksgelden die hun studie heeft opgeleverd. Daar mag je iets voor terug verwachten als burger, vind ik. Bijvoorbeeld dat ze hun data goed archiveren en openheid geven over de computerprogramma's die ze voor hun publicaties gebruikt hebben. Onze audit maakt duidelijk dat je het *peer review*-proces van wetenschappelijke tijdschriften niet te hoog moet aanslaan. Onderzoekers wordt gevraagd gratis een oordeel te vellen over anderen werk. Dan kun je niet verwachten dat ze naar de details van een studie kijken. Dus na publicatie moeten andere onderzoekers de resultaten van een artikel proberen te reproduceren. Dat is in het geval van Mann nooit gebeurd."

Consensus McIntyre en McKittrick slaagden er tot nu toe niet in om hun bevindingen in gerenommeerde wetenschappelijke bladen gepubliceerd te krijgen. Dus hoeven ze niet serieus genomen te worden, vinden de gevestigde klimaatonderzoekers. Die hameren graag op de consensus die er in hun vakgebied bestaat. Er is zelfs een internationaal orgaan opgericht om tot deze consensus te komen, het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Dit instituut, onder de vlag van de



Verenigde Naties, brengt iedere vijf jaar een lijvig rapport over de stand van zaken in het klimaatonderzoek uit. Honderden klimaatonderzoekers uit de hele wereld dragen er aan bij. In het derde IPCC-rapport uit 2001 was Mann zelf de eerste auteur van het hoofdstuk over klimaatreconstructies.

Zijn hockeystick-grafiek belandde als enige klimaatreconstructie in de *Summary for policy makers* van dit IPCC-rapport. In tekst luidde de conclusie als volgt: de jaren negentig van de 20e eeuw waren de warmste in de afgelopen duizend jaar. Deze nogal stellige uitspraak is door overheden overal ter wereld gebruikt ter onderbouwing van het Kyoto-protocol.

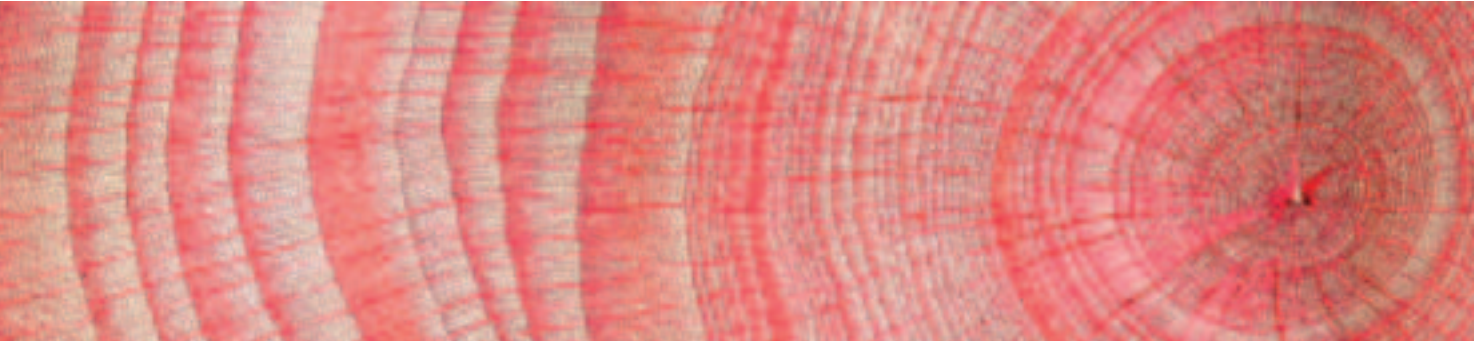
“Die uitspraak heeft op klimaatsceptici gewerkt als een rode lap op een stier”, zegt klimaatonderzoeker Rob van Dorland van het KNMI in De Bilt. Van Dorland is zelf *lead author* voor het vierde IPCC-rapport dat in 2007 moet verschijnen. “Het is eigenlijk een veel te gevaarlijke uitspraak. We weten nog lang niet precies hoe natuurlijke klimaatfactoren zoals vulkaanuitbarstingen en de activiteit van de zon doorwerken in de temperatuur. Het IPCC heeft bovendien de fout gemaakt om in de *Summary for policy makers* alleen de reconstructie van Mann op te nemen en niet die van enkele andere onderzoekers.”

Uit een korte analyse van prof dr Ton van Raan van het Centrum voor Wetenschap en Technologie Studies (Cwts) in Leiden blijkt dat het *Nature*-artikel van Mann *et al.* uit 1998 ruim 300 keer geciteerd is, tweemaal zoveel als het gemiddelde

voor *Nature*. Opvallender vindt Van Raan dat de citaties de laatste jaren weer in een opgaande lijn zitten, terwijl de meeste artikelen na vier jaar wel ‘uitgewerkt’ zijn. Dit heeft mogelijk te maken met de prominente positie van de hockeystick in het derde IPCC-rapport.

DotCom Stephen McIntyre kwam eind 2002 voor het eerst met de hockeystick in aanraking. De Canadese overheid zette de grafiek in die tijd veelvuldig in om de ondertekening van het Kyoto-protocol te onderbouwen. “De eerste keer dat ik de hockeystick zag moest ik direct aan de promo-grafieken uit de Dot-Com-business denken”, laat McIntyre telefonisch weten. “Het ging dan uiteraard om winstprognoses en de grafieken waren bedoeld om investeerders over de streep te trekken. Ook in de mijnbouw, waarin ik zelf werkzaam ben, worden zulke grafieken ingezet om investeerders ervan te overtuigen dat er ergens goud, olie, gas of andere hulpbronnen in de grond zitten.”

McIntyre, die wiskunde studeerde aan de Universiteit van Toronto, heeft dergelijke grafieken jarenlang kritisch tegen het licht gehouden. “Ik weet uit mijn eigen industrietak hoe belangrijk het is om naar de oorspronkelijke data van bijvoorbeeld boorkernen te kijken en niet alleen naar de grafieken die bedrijven je voorschotelen. Vaak zijn er enkele data die het eindresultaat sterk beïnvloeden. Ik vroeg me af of dat bij de hockeystick ook het geval was.”



Boomringen Elke jaarring geeft een temperatuurindicatie voor het jaar waarin hij ontstond, maar ook onder meer de leeftijd en soort van de boom, het CO₂-gehalte en de luchtvochtigheid hebben invloed op de groeisnelheid.

De toen 55-jarige McIntyre stuurde in het voorjaar van 2003 een e-mail naar Michael Mann met de vraag waar hij de gebruikte data en rekenmethoden kon vinden. “Mann antwoordde dat hij dat niet precies wist, maar dat hij zijn collega Scott Rutherford zou vragen de informatie bij elkaar te zoeken. Ik vond deze gang van zaken direct hoogst verdacht. Het ging hier om een vaak geciteerde studie die bovendien door het IPCC in haar beleidsnota was opgenomen. Ik verwachtte dat er een *due diligence*-pakket klaar zou liggen. Bij het opstellen van een prospectus voor een beursgang of financieringsronde zijn bedrijven juridisch verplicht zo’n *due diligence*-pakket aan te leveren, waarin alle relevante data zitten. Dat zo’n pakket niet beschikbaar was deed vermoeden dat er nog nooit iemand in detail naar de data heeft gekeken. Inmiddels weten we dat zeker. Zelfs het IPCC, dat het wetenschappelijk onderzoek vertaalde in politiek beleid waar inmiddels miljarden dollars mee gemoeid zijn, heeft nooit gecontroleerd of het werk van Mann, Bradley en Hughes wel reproduceerbaar en dus betrouwbaar was.”

Ook onafhankelijke onderzoekers hebben het werk van Mann op dit gebied nooit gereproduceerd. In de zomer van 2003 nam McIntyre deze taak op zich, een uit de hand gelopen hobby die hem tot op de dag van vandaag in beslag neemt. Hij leerde via een internetgroep voor klimaatsceptici Ross McKittrick kennen. McKittrick is hoogleraar economie aan de universiteit van Guelph, dat niet ver van Toronto ligt. In september ontmoeten de twee elkaar voor het eerst in Toronto. Sindsdien werken ze voortdurend samen aan het project. McIntyre doet vrijwel al het spitwerk, McKittrick stelt vragen en helpt met het schrijven van artikelen.

Jaarringen Hoe bepaal je een gemiddelde temperatuur voor het hele noordelijk halfrond? Anno 2005 lijkt dat redelijk simpel: middel de temperatuurmetingen van alle grondstations (ongeveer 5000). Weliswaar staat het merendeel van de thermometers op land, maar de dekking op zee, waar boeien ingezet worden, is tegenwoordig goed, zodat een vrij representatief beeld ontstaat.

Betrouwbare temperatuurmetingen zijn er pas vanaf ongeveer 1850. Voor de periode daarvoor zijn onderzoekers afhankelijk van indirecte metingen met zogenaamde temperatuurindicatoren, ook wel proxy’s genoemd. Veel gebruikte proxy’s zijn jaarringen van bomen, ijskernen, sedimentlagen en koralen. Het bekendst zijn de jaarringen van bomen, die meestal tot op het jaar nauwkeurig dateerbaar zijn. De dikte van de ring en de dichtheid van het hout zeggen iets over het klimaat in het betreffende jaar. De proxy is in dit geval een reeks getallen die opeenvolgende jaarringdiktes weergeven.

Paleoklimatologen specialiseren zich meestal in een van deze proxy’s. Boomringonderzoekers halen monsters uit nog levende oude bomen, of vinden dode resten van (nog oudere) bomen. De dikte van een jaarring wordt niet alleen bepaald door de temperatuur, maar ook door onder andere de neerslag, de grondsoort en de concentratie CO₂ in de lucht. Individuele bomen worden vaak meer beïnvloed door aan welke kant van de heuvel ze staan dan door subtiele veranderingen in het klimaat. Het is inmiddels bekend dat bomen op extreme locaties, dichtbij de boomgrens, het zuiverste temperatuursignaal bevatten. Iedere proxy heeft z’n eigen voor- en nadelen. Boomringen zijn goed te dateren, maar de omrekening naar temperatuur is lastig. Ijskernen leveren een nauwkeurig temperatuursignaal, maar zijn lang niet voor elke locatie beschikbaar. Voor klimaatreconstructies gebruikt men daarom de multiproxy-aanpak.

Kalibreren Mann’s studie is de bekendste van die multiproxy-studies. Hij baseerde zich voor een groot deel op boomringen, maar gebruikte daarnaast ijskernen, koralen en oudere temperatuur- en neerslaggegevens (vooral in West-Europa beschikbaar).

Mann *et al.* kalibreren hun proxy’s over de periode 1902-1980. Dan zijn immers nauwkeurige temperatuurmetingen beschikbaar waarmee je de proxy’s kunt ijken. De aanname is voorts dat de relatie tussen boomgroei en temperatuur vanaf de 11e eeuw hetzelfde was als in de 20^e eeuw.

Voor een realistisch weergave van de temperatuur op het hele noordelijk halfrond is een goede spreiding nodig van de proxy’s, zowel geografisch als in de tijd. Vooral het laatste is een probleem. Tussen 1400 tot 1450, bijvoorbeeld, beschikken Mann *et al.* over slechts 22 proxy’s.

Met name in Noord-Amerika zijn veel jaarring-reeksen beschikbaar, uit de openbare World Data Center for Paleoclimatology. Mann gebruikt de principal component analysis om de belangrijkste trends uit grote groepen jaarring-reeksen te halen. Het Noord-Amerikaanse gebied (de Noamer-groep) omvat bijvoorbeeld honderden boomring-reeksen. Eén reeks is een lijst met boomringdikten van één boomsoort op één locatie. Zo’n reeks begint bijvoorbeeld in 1470 en eindigt in 1980. Bij ieder jaar hoort één getal dat weergeeft hoeveel die boomsoort op die locatie groeide is.

Met PCA destilleren Mann *et al.* uit die 95 reeksen twee *principal components* (PC’s), die als een soort samengestelde thermometer fungeren. Die twee PC’s tellen vervolgens mee in de statistische analyse van de temperatuur van het noordelijk halfrond. Op andere plekken, waar weinig proxy’s beschikbaar zijn, gebruikt Mann individuele proxy’s als thermometer. De

Proxy's

Wetenschappers verzamelen overal ter wereld boommonsters, ijskernen en koralen om als indicatie te dienen voor de geschiedenis van de temperatuur op aarde.

complete analyse omvatte 81 individuele proxy's en 31 Principal Components. Bij elkaar zijn dit 112 proxy's.

Toch ontstaat in de loop van de discussie onduidelijkheid over welke proxy's Mann nu wel, en welke hij niet heeft meegenomen in zijn analyse.

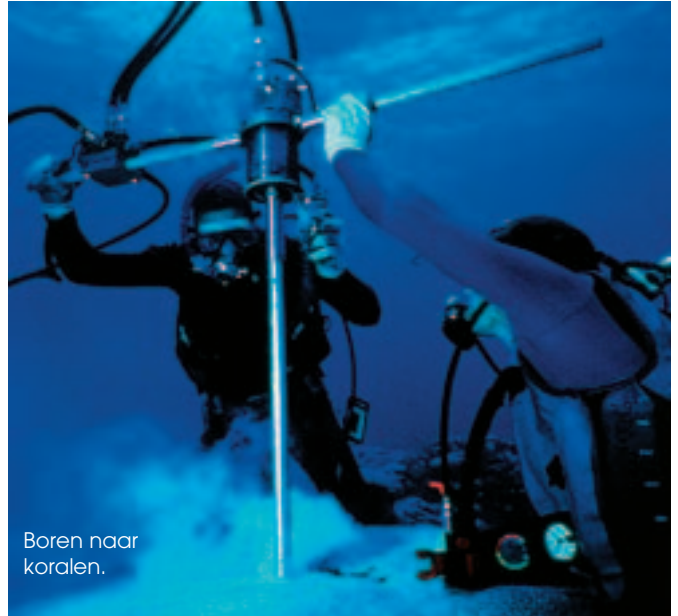
“Vijf jaar na publicatie liet Mann weten dat er 159 proxy-reeksen gebruikt waren in plaats van de in het *Nature*-artikel genoemde 112. Zelfs zijn collega Scott Rutherford had het in zijn emails naar ons over 112 proxy-reeksen en ook Zorita et al., naar wie Mann verwijst, hanteren dat aantal.”

We besloten dr Eduardo Zorita van het GKSS Research Center in het Duitse Geesthacht, die zich de afgelopen jaren eveneens in de berekeningen achter de hockeystick verdiepte, hiernaar te vragen. Telefonisch laat hij weten: “Dat getal van 159 proxy's hoor ik voor het eerst. Wij werken in onze analyses van de hockeystick niet met de werkelijke data maar met pseudo-proxy's, proxy's die wij uit onze simulaties halen. We zijn echter altijd uitgegaan van 112 pseudo-proxy's.”

Met de nodige hindernissen lukte het McIntyre om op basis van de door Rutherford verschaft data de PCA over te doen, maar de resultaten weken sterk af van die van Mann. Daarop besloot hij de hele dataset ter verificatie terug te sturen naar Mann. Die antwoordde dat hij geen tijd had om de data en berekeningen van McIntyre te controleren en ook in de toekomst niet meer op verzoeken in kon gaan. McIntyre en McKitrick besloten dat er dan niets anders opzat dan alle 350 data-reeksen te matchen met de gegevens in het World Data Center for Paleoclimatology, een monsterklus. Ze ontdekten dat veel verschillen te wijten waren aan het gebruik van verouderde data.



Ijskernen hebben ook jaarringen.



Boren naar koralen.

Veel hiaten in de boomringreeksen waren inmiddels opgevuld door nieuwe metingen aan andere bomen.

McIntyre gebruikte de geactualiseerde data om opnieuw de PCA uit te voeren. Het resultaat kwam grotendeels overeen met de hockeystick, behalve in de 15^e eeuw. Daarin zijn de temperaturen een stuk hoger dan in Mann's publicatie, zelfs hoger dan in de 20^e eeuw. Het desbetreffende artikel in het 'klimaat-sceptische' tijdschrift *Energy & Environment* haalde wel de kranten, bijvoorbeeld *de Volkskrant* op 1 november 2003, maar werd door klimaatonderzoekers genegeerd.

Een jaar later benadrukt McIntyre nogmaals: “Wij claimden niet dat we een Warme Middeleeuwse Periode hadden ‘ontdekt’. We stelden alleen maar dat het gezien de vele fouten in de data onverantwoord was om te concluderen dat de jaren negentig van de 20^e eeuw de warmste in de afgelopen duizend jaar zijn.”

Verkeerde data McIntyre en McKitrick zetten alle algoritmen die ze gebruikt hadden op de internetsite www.climate2003.com. Ook legden ze daarop uit hoe ze met ontbrekende data waren omgegaan. Ze wisten dat er iets niet klopte met de *principal components analysis*, maar konden hun vinger er nog niet op leggen. Het wachten was op de reactie van Mann. Die was verrassend. McIntyre: “Op de website van David Appell, een Amerikaanse wetenschapsjournalist, liet Mann weten dat wij de verkeerde data hadden gebruikt! Dat was bizar, want wij hadden die nota bene van zijn collega Scott Rutherford gekregen. We hadden volgens Mann de data van zijn ftp-site moeten halen, maar dat nieuwe adres was nooit eerder in een publicatie of op zijn website vermeld.”

Bovendien hadden McIntyre en McKitrick ‘conventionele’ PCA gebruikt, terwijl Mann een stapsgewijze methode had gevolgd, om schaarse data beter te benutten. McIntyre: “Dat was opnieuw een verrassing, want in het *Nature*-artikel wordt met geen woord gerept over deze stapsgewijze aanpak. PCA doe je normaal over de maximale periode waarin je data beschikbaar zijn. Omdat er verder terug in de tijd steeds minder proxy's beschikbaar zijn hebben Mann et al. besloten PCA over verschillende perioden te doen. In meer recentere perioden kun je dan meer proxy's meenemen.” Zonder de stapsgewijze methode zou Manns klimaatreconstructie gebaseerd zijn geweest op slechts 22 proxy's.

Het maken van een hockeystick

Multiproxy-studie

Mann gebruikt voor zijn klimaatreconstructie proxy's, reeksen data die als temperatuurindicator dienen, zoals bomen, ijskernen, koralen en oudere temperatuur- en neerslaggegevens.



Proxy's

- ▲ = Jaarringen bomen
- ★ = Jaarringen ijskernen
- = Koralen
- = Oudere temperatuurgegevens (vóór 1850)
- ◆ = Oudere neerslaggegevens (vóór 1850)

Ruimtelijke verdeling

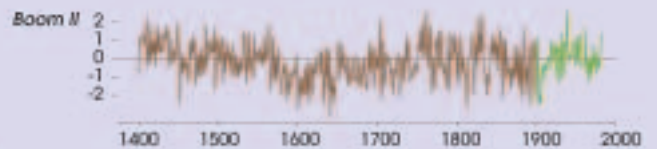
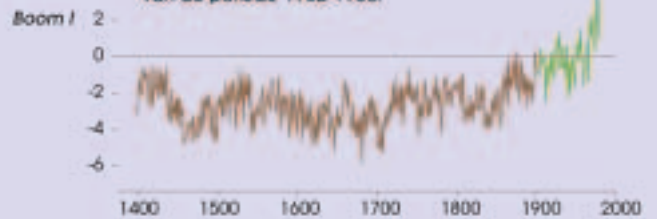
In sommige gebieden zijn honderden tijdreeksen van bomen beschikbaar. Om een goede ruimtelijke verdeling over het noordelijk halfrond te krijgen reduceert Mann met *Principal Component Analysis (PCA)* deze reeksen tot een beheersbaar aantal *Principal Components*.

Afwijkende standaardisering

Voor een PCA moet de data eerst gestandaardiseerd worden. Normaal gesproken (zie McIntyre) bepaal je het gemiddelde en de standaardafwijking van alle data. Je trekt dit gemiddelde van alle data af en je deelt vervolgens door de standaardafwijking. Bij een normale verdeling ligt dan circa 95% van de data tussen -2 en +2 eenheden van de standaardafwijking. Mann bepaalt het gemiddelde en de standaardafwijking alleen over de periode 1902-1980. Hij standaardiseert hiermee alle data, dus ook die vóór 1902. Bij boom I heeft dit weinig effect omdat het gemiddelde in beide gevallen vrijwel identiek is. Bij boom II is het effect groot: de data in de periode 1902-1980 blijven in het gebied -2 en +2 liggen. Een groot deel van de overige data komt echter daarbuiten te liggen.

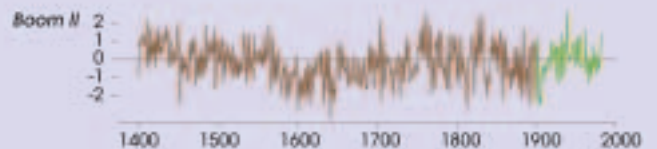
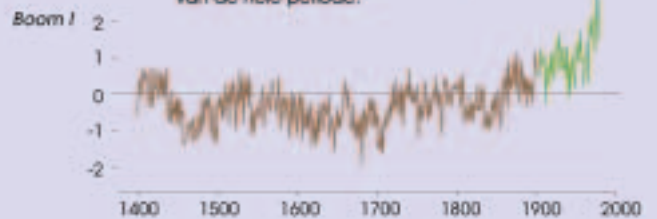
Mann

Mann et al. standaardiseert de data op basis van de periode 1902-1980.



McIntyre

McIntyre standaardiseert de data op basis van de hele periode.



McIntyre en McKitrick hebben aangetoond dat de methode die Mann *et al.* gebruiken om de temperatuur van het Noordelijk halfrond over de afgelopen duizend jaar te reconstrueren, leidt tot een sterke overwaardering van boomringreeksen met een hockeystickvorm. Met tijdreeksen van twee bomen laten we zien wat het effect is van de ongebruikelijke standaardisering die Mann toepast. Boom I vertoont een duidelijke hockeystickvorm, boom II laat geen trends zien. Boom I kreeg in Mann's berekeningen het meeste gewicht toegekend in de Noord-Amerikaanse groep. Boom II telde juist nauwelijks mee.

McIntyre en McKitrick besloten zich voorlopig te concentreren op de PCA voor de periode 1400-1450 omdat daar de meeste onenigheid over bestond: "De temperatuur van het hele noordelijk halfrond in de periode 1400-1450 bleek af te hangen van de twee principal components uit de Noamer-groep."

McIntyre en McKitrick begrepen echter nog steeds niet waar het verschil tussen hun grafiek (stijging van de temperatuur vóór 1500) en de hockeystick-figuur door veroorzaakt werd. Mann ondertussen bleef weigeren zijn *source code*, de programma's waarmee hij zijn berekeningen had uitgevoerd, openbaar te maken. McIntyre en McKitrick hadden inmiddels zowel

Nature als de *National Science Foundation*, die het onderzoek van Mann et al. destijds hadden gefinancierd, hierop aangesproken. Beide organisaties scharden zich echter achter Mann en zagen geen reden waarom hij zijn *source code* zou moeten prijsgeven.

Op de genoemde ftp-site vond McIntyre nog iets interessants, namelijk een fortran-programma van ruim 500 regels dat beschreef hoe de principal components (PC's) berekend moesten worden en dat vermoedelijk ook onbedoeld op de ftp-site is gekomen. Het bleek meer dan de moeite waard het programma regel voor regel na te pluizen. McIntyre: "Voordat je een principal component analysis doet moet je de data standaardiseren. Normaal gesproken doe je dat door het gemiddelde te bepalen van

Principal Component Analysis

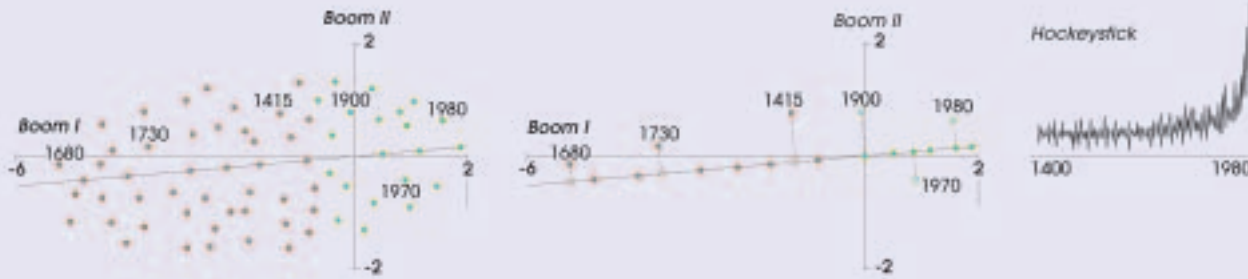
Met de gestandaardiseerde data gaan we nu PCA doen. Boom I zetten we uit langs de x-as, boom II langs de y-as. Dit levert een puntenwolk op. Met PCA brengen we de tweedimensionale puntenwolk terug tot één dimensie, de Principal Component (PC). In een PCA zoek je naar reeksen met de meeste spreiding. Mann vindt door de afwijkende standaardisering veel meer spreiding langs de x-as (boom I) dan langs de y-as (boom II). De PC loopt daardoor vrijwel parallel aan de x-as: boom I telt zwaarder mee. Bij McIntyre tellen boom I en II ongeveer even zwaar mee. De PC loopt daarom onder een hoek van zo'n 45 graden.

Koude en warme jaren

We projecteren alle data loodrecht op de PC. We houden nu een lijn over waarop groene en bruine punten liggen. Links liggen 'koude jaren' en rechts 'warme jaren'. Bij de Mann-methode zijn vrijwel alle warme jaren groen en dus afkomstig uit de 20e eeuw. Bij normale standaardisering komen groene en bruine punten door elkaar heen te liggen.

Tijdlijn

Zetten we de punten vervolgens weer uit in de tijd, dan verschijnt er bij Mann een hockeystick, terwijl de normale procedure ook een warme periode in de 15e eeuw laat zien.



Data na 1900
Data voor 1900



Met dank aan Mia Hubert
Ochtuuewetenschap & Techniek / Schwandt Infographics

alle data over de gehele periode, dat gemiddelde vervolgens van alle data af te trekken en vervolgens alle data te delen door de standaardafwijking. Het fortran-programma beschrijft echter hoe het gemiddelde en de standaardafwijking over de periode 1902-1980 gebruikt worden om alle data, dus ook de data vóór 1902, te standaardiseren. Dat is een zeer ongebruikelijke stap, die bovendien niet vermeld is in het *Nature*-artikel.”

Deze ogenschijnlijk kleine aanpassing blijkt grote gevolgen te hebben voor het eindresultaat, en verklaart grotendeels het verschil tussen de grafiek van McIntyre en McKittrick en de hockeystick in de 15e eeuw. McIntyre: “Het gevolg van deze voorbewerking van de data is dat in de PCA veel meer gewicht wordt toegekend aan boomring-reeksen met een hockeystickvorm. In de cruciale periode 1400-1450 wordt in de PCA van de Noamer-groep het meeste gewicht toegekend aan de reeks ca534, een boomring-reeks uit de Sheep Mountain in

Californië. Die reeks heeft een hockeystickvorm. Andere reeksen uit hetzelfde gebied die helemaal geen hockeystickvorm hebben tellen nauwelijks mee in de PCA. Het programma selecteert dus reeksen met een hockeystickvorm.”

Dr Mia Hubert van de Katholieke Universiteit Leuven, gespecialiseerd in Robuuste Statistiek, controleerde op ons verzoek de claim dat Mann's afwijkende standaardisering de klimaatreconstructie beïnvloedt, en bevestigt: “Boomring-reeksen met een hockeystick-vorm krijgen op deze manier inderdaad meer gewicht in de PCA.”

McIntyre en McKittrick besloten nog een andere test uit te voeren. Hun computer genereerde ‘met de dobbelsteen’ een groot aantal jaarring-reeksen met zogeheten *red noise* over de periode 1400-1980. *Red noise* is een type ruis dat veel gebruikt wordt in de klimatologie en oceanografie, omdat het (willekeurig verdeelde) lange-termijntrends bevat.

De resultaten in de directory *Backto_1400_Censored* bevielen Mann blijkbaar niet.

McIntyre: “Er zullen *red noise* reeksen tussen zitten die toevallig in de 20^e eeuw omhoog gaan, een aantal die naar beneden gaan en verder alles wat daar tussenin zit. Met conventionele PCA krijgen we hier de verwachte zaagtand-grafiek, een figuur die willekeurig op en neer danst. Met de Mann-methode, de data standaardiseren op basis van de periode 1902–1980, krijgen we echter hockeysticks! We hebben deze simulatie duizenden keren herhaald en in 99% van de gevallen levert de PCA een hockeystickvorm op.”

Het komt er dus op neer dat de klimaatreconstructie een hockey-stickvorm oplevert, vrijwel ongeacht welke historische temperatuurgegevens Mann in z'n model stopt.

De twee Canadezen zijn niet helemaal roependen in de woestijn. Ook dr Hans von Storch, specialist in klimaatstatistiek aan het hetzelfde instituut als z'n collega Zorita, publiceerde met hem in *Science* van 22 oktober 2004 een kritisch artikel over de hockeystick uit 1998. Hun kritiek richtte zich toen weliswaar op een ander deel van Mann's analyse, maar Von Storch laat na bestudering van McIntyre's simulaties telefonisch weten dat “het simuleren van hockeysticks uit *red noise* klopt. De kritiek van McIntyre and McKittrick op de hockeystick uit 1998 is volledig terecht.”

Duplicaties De ontdekking van de afwijkende standaardisering bracht McIntyre en McKittrick nog weer op een ander spoor. “Diverse boomring-reeksen komen tweemaal voor in Manns database, wat natuurlijk niet mag. Een intrigerende duplicatie is die van de Gaspé *cedar northern treeline*-reeks. Gaspé is een schiereiland in Canada. De Gaspé-reeks komt eenmaal voor als individuele proxy (treeline #11) en eenmaal in de Noamer-groep, onder de code cana036. De reeks begint in 1404, maar in het geval van treeline #11 is het startjaar vervroegd naar 1400. De jaren 1400 tot 1403 kregen dezelfde waarde als het jaar 1404. Dit is de enige keer dat hij gebruik maakt van zo'n extrapolatie en we vroegen ons af waarom ze dit gedaan hadden. Door deze kleine extrapolatie kon de Gaspé-reeks meegenomen worden in de berekening voor de periode 1400–1450. Wij hebben de berekening over die periode met en zonder de Gaspé-reeks gedaan en het verschil was gigantisch. In sommige jaren lag de temperatuur wel 0,4 graden hoger als we de Gaspé-reeks niet meenamen.”

McIntyre en McKittrick gingen terug naar de bron van de Gaspé-reeks, twee artikelen van Jacoby en d'Arrigo uit 1989 en 1992. “De Gaspé-reeks begint weliswaar in 1404, maar tussen 1404 en 1421 zijn deze data slechts gebaseerd op één boom. Dendrochronologen (jaarringonderzoekers) gebruiken normaal gesproken geen data die slechts gebaseerd zijn op één

of twee bomen. Jacoby en d'Arrigo gebruiken hun metingen zelf pas vanaf 1600.”

McIntyre en McKittrick hadden meer dan genoeg stof voor een artikel en stuurden dat in januari van 2004 naar *Nature*. Mann et al. waren gevraagd te reageren op het artikel. McIntyre: “Zij kwamen met een interessant punt. Zij stelden dat de Noamer PC1, de eerste principal component, niet alleen afhangt van de boomring-reeks uit Sheep Mountain, maar dat ook veertien andere reeksen voor een kwart aan de betreffende PC bijdroegen. Eind maart stuurden wij een tweede versie van ons artikel in waarin we lieten zien dat deze veertien boomring-reeksen alle behoorden tot de zeer omstreden hooggelegen Stekelden-reeksen, bestudeerd door Graybill en Idso in 1993. Deze reeksen laten alle een flinke groeispuurt zien in de 20e eeuw. Graybill en Idso zelf denken dat die spurt te maken heeft met hogere CO₂-concentraties in de lucht, en niet met een hogere temperatuur. Ironisch genoeg heeft ook Mann al in 1999 toegegeven dat deze reeksen niet betrouwbaar zijn: ‘Een aantal boomring-reeksen op grote hoogte in het westen van de Verenigde Staten lijken een langdurige groeispuurt te vertonen die geprononceerder is dan verklaard kan worden met de instrumenteel gemeten temperatuurstijging in deze regio's.’

Nu echter beweerde Mann dat deze reeksen juist een cruciale bijdrage leveren aan de Noord-Amerikaanse PC1, en dus aan de temperatuur van het hele noordelijk halfrond.”

Censuur Maar het werd nog leuker. McIntyre: “Op de ftp-site van Mann bevindt zich een subdirectory met de intrigerende naam BACKTO_1400-CENSORED. Die map bevat principal components, maar onduidelijk is hoe die berekend zijn. We vroegen ons af of die Stekelden-reeksen er iets mee te maken konden hebben. Het was opnieuw bingo. De veertien door Mann bedoelde reeksen plus nog zes andere waren in de gecensureerde map buiten de Noamer PCA gelaten. Toen Mann cs de analyse deden zonder die twintig reeksen kregen ze PC's die vergelijkbaar zijn met de onze. In de uiteindelijk gebruikte directory, BACKTO_1400-UNCENSORED, zijn die omstreden Stekel-den reeksen wel meegenomen. Mann et al. maken er nergens melding van dat ze deze berekening gedaan hebben.”

“Je kunt je voorstellen hoe ironisch wij deze ontdekking vonden. Na de publicatie van ons artikel in *Energy & Environment* beschuldigde Mann ons van selectief shoppen in proxy-reeksen. Nu bleek dat hij in een map met het label CENSORED erop resultaten had staan die precies leken op de onze.”

Eind maart stuurden McIntyre and McKittrick een tweede versie van hun artikel naar *Nature*, waarin ze ook de dubieuze rol van de Stekel-den reeksen meenamen. “*Nature*

Hockeystickmateriaal

De stekel-dennen uit de Sheep Mountains in Californië domineren de klimaatreconstructie van Mann en zorgen zo voor de hockeystickvorm.



verzocht ons vervolgens om het artikel sterk in te korten, tot 500 woorden. Pas begin augustus kregen we te horen dat ons artikel niet geplaatst zou worden, met name omdat het artikel te technisch zou zijn om binnen de gegeven lengte besproken te kunnen worden.”

McIntyre and McKittrick waren behoorlijk gefrustreerd over deze tijdvetrende procedure. Wel hadden Mann et al. inmiddels een Corrigendum moeten plaatsen (*Nature*, 1 juli 2004). McIntyre: “Dit Corrigendum is echter verre van compleet. Onze voornaamste kritiek, de afwijkende standaardisering van de data, is bijvoorbeeld niet eens genoemd. Wel geven Mann et al. toe dat ze de Gaspé reeks hebben geëxtrapoleerd van 1404 tot 1400, maar vlak daaronder staat dat ‘Geen van deze fouten beïnvloeden onze eerder gepubliceerde resultaten’. Wij hadden vooraf inzage gekregen in de tekst van het Corrigendum en kritiek geleverd. Deze zin is er echter pas later aan toegevoegd. Wij zijn het daar uiteraard absoluut niet mee eens.”

Overtuigend Eind december hebben McIntyre and McKittrick een iets gewijzigde versie van hun artikel ingediend bij *Geophysical Research Letters* (GRL). Dit artikel zal eind januari verschijnen, evenals een tweede publicatie in *Energy & Environment*.

Gezien de reacties van de referees van GRL, waarin McIntyre ons inzage gaf, lijkt het mij onder klimaatonderzoekers te keren: “Dit is een verbazingwekkend resultaat. Ik heb de analyse van McIntyre and McKittrick nauwkeurig bestudeerd, en ben ervan overtuigd dat hun werk correct is. Ik dring er op aan om dit artikel niet links te laten liggen vanwege de potentiële controverse. Het hele onderzoeksveld dat over de opwarming van de aarde gaat, heeft momenteel te lijden onder het feit dat het gepolitiseerd is. Wetenschap is voor z’n succes afhankelijk van een open dialoog, waarin critici aan beide zijden gehoord worden.”

Klimaatonderzoekers kunnen het onderzoek van McIntyre and McKittrick dus niet langer afdoen met de opmerking dat “ze niet gepubliceerd hebben in een gezaghebbend tijdschrift”. Mann, Bradley en Hughes blijven ondertussen van zich af bijten. Zoals een referee ook constateerde: “Helaas, op grond van wat ik op internet gezien heb, geven Mann et al. hun fout niet toe. Die is natuurlijk ook zeer beschamend voor ze. Mann heeft z’n vaste aanstelling als professor vrijwel uitsluitend aan z’n hockeystick-artikelen te danken.”

Mann lijkt er al jaren geleden voor gekozen te hebben om die grafiek tot het uiterste te verdedigen. Onlangs zette Mann samen met een tiental collega’s een weblog op, www.re-alclimate.org, waar hij op niet altijd even subtiele wijze in de tegenaanval gaat. Eén van de *Nature*-referees was dat ook opgevallen: “Ik ben bepaald niet onder de indruk van Mann, Bradley en Hughes’ stijl van ‘als we harder en langer schreeuwen, dan

hebben wij gelijk”’. Het hoofdargument van Mann is dat McIntyre and McKittrick, bij de PCA van de Noamer-groep, niet twee, maar vier PC’s zouden moeten meenemen voor het berekenen van de uiteindelijke temperatuurgrafiek.

Het probleem met *principal components analysis* is, dat er geen objectief criterium bestaat voor het aantal principal components dat nog relevant is. Strikt genomen levert een dataset met, bijvoorbeeld, 100 proxy’s ook 100 principal components op, aangezien PCA niets meer doet dan dezelfde data op een ander manier presenteren. Echter, de principal components zijn, anders dan de proxy’s, te sorteren: de grootste is per definitie PC1, de een-na-grootste PC2, enzovoort. Afhankelijk van de hoeveelheid ruis in de data en het doel van de onderzoeker worden dan één, twee of nog meer PC’s gebruikt om de trend in de data te representeren. Discussies over de relevantie van een subtiele trend in de data die door PC4 wordt gerepresenteerd krijgen dan al snel een hoog welles-nietesgehalte.

McIntyre laat dan ook weten niet onder de indruk te zijn: “Mann claimt dat de Stekelden-reeksen een dominante trend opleveren in de Noamer-groep. Dat klopt als we zijn incorrecte standaardisering gebruiken. De Stekelden-reeksen bepalen dan via de PC1 38% van de variantie in de Noamer-groep. Als PC4 in onze berekening dragen de Stekelden-reeksen nog maar voor 8% bij aan die variantie. Dit is dus niet echt een dominante trend, zoals Mann claimt. Zijn argument om het aantal PC’s te verhogen tot vijf is ad hoc en lijkt maar één doel te dienen, namelijk om zijn resultaat veilig te stellen. Ze wisten hoe cruciaal de Stekelden-reeksen zijn voor hun eindresultaat, de hockeystick. Dat hebben ze immers berekend in de directory BACKTO_1400-CENSORED. Die berekening

“Ik denk dat dit op de volgende IPCC-bijeenkomst op de agenda zal staan.”



Het oogsten van jaarringen.

hebben ze echter niet openbaar gemaakt en nu houden ze een pleidooi dat wij per se die PC4 mee moeten nemen. Mann claimde altijd dat zijn methode zeer robuust is, dus dat het verwijderen en toevoegen van proxy's geen invloed heeft op het eindresultaat. Nu echter hamert hij erop dat één enkele PC4,

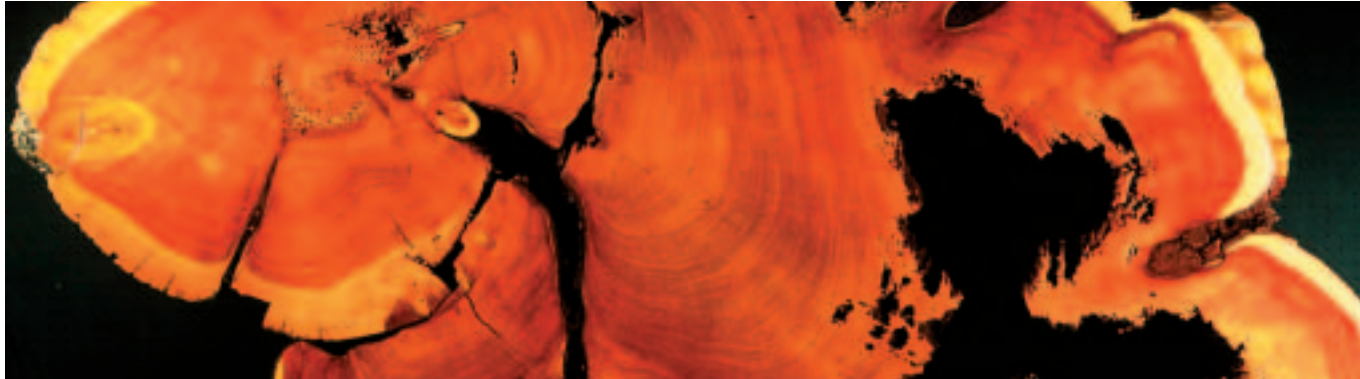
gebaseerd op slechts een paar boomring-reeksen, doorslaggevend is voor de temperatuur van het hele noordelijk halfrond.”

Robuust Als de inmiddels bekende ad hominem argumenten dat McIntyre en McKitrick geen echte wetenschappers zouden zijn, verklaart Mann over de directory BACKTO_1400-CENSORED op zijn ftp-server: “We hebben na de publicatie van de eerste hockeystick, in 1998, een aantal gevoeligheidstesten gedaan om uit te maken of een betrouwbare reconstructie mogelijk was zonder dat we sommige hooggelegen boomringreeksen corrigeren voor niet-klimatologische effecten, zoals bijvoorbeeld de invloed van CO₂. We hebben daarover verantwoording afgelegd in de publicatie van 1999.”

McIntyre neemt geen genoegen met dit antwoord: “In zijn tweede publicatie beschrijft Mann weliswaar de problemen met de Stekeldennen, maar daar gaat het over de periode 1000-1399 en niet over de 15^e eeuw waarover de discussie nu gaat. Als je weet dat er problemen zijn met de Stekeldennen, dan is de meest voor de hand liggende test dat je ze eruit haalt en kijkt wat het effect is. Mann heeft dat gedaan in de directory BACKTO_1400-CENSORED. De resultaten bevielen hem niet, hij heeft deze berekeningen niet gemeld en hij heeft de Stekeldennen gewoon meegenomen in de uiteindelijke analyse.”

In antwoord op de kritiek dat de vorm van zijn hockeysticks sterk afhangt van de Stekelden reeksen in de Noamer-groep, zodat zijn klimaatreconstructie verre van robuust is, stelt Mann dat hij dezelfde resultaten zelfs kan verkrijgen zonder PCA te doen, door de 95 boomring-reeksen in dit netwerk gewoon te middelen: “de simpelste denkbare demonstratie dat de claims van McIntyre en McKitrick onjuist zijn.” “Mann is een slimme debatteerder,” wil McIntyre wel toegeven. “Hij ontwijkt de vraag en zegt dat hij met een andere methode dezelfde resultaten kan krijgen. Daarmee zou hij dan bewijzen dat onze kritiek niet deugt. Dat is natuurlijk een absurde redenering. Wij stellen dat zijn methode uit vele boomring-reeksen de hockeystick-reeksen, lees de Stekelden reeksen, selecteert en daaraan het meeste gewicht geeft. Dat hij met een andere methode ook een hockeystick weet te produceren kan best. Ons argument, dat de Stekelden reeksen cruciaal zijn voor het eindresultaat, blijft nog steeds van kracht. Als je een gewone middeling doet over alle reeksen in de Noamer-groep en de twintig Stekelden reeksen dus niet meeneemt, krijg je absoluut geen hockeystick.”

Mann wijst ons er ook op dat de hockeystick-grafiek niet alleen door hem gevonden is. Mann: “Ruim een dozijn andere schattingen op basis van proxy data geven in wezen hetzelfde resultaat.” Hij verwijst daarbij naar een grafiek waarin je inderdaad verschillende reconstructies ziet die op het oog wel



iets van elkaar weg heb hebben. McIntyre heeft dit argument vaker gehoord: “Dat andere studies ‘soortgelijke’ resultaten opleveren is geen bewijs dat de methode van Mann deugt.”

De laatste maanden is McIntyre daarom bezig met het analyseren van andere vaak aangehaalde multiproxy-studies. McIntyre: “Ik noem het plaatje dat Mann bedoelt het spaghetti-diagram, een brei aan lijntjes. Tot nu toe komen Mann en andere onderzoekers niet verder dan de constatering dat hun reconstructies visueel op elkaar lijken. Dat is een volstrekt onwetenschappelijke benadering. Ze zouden de overeenkomsten moeten kwantificeren.”

Definitieve conclusies heeft McIntyre nog niet over de andere studies, maar hij noemt zijn ervaringen tot nu toe niet erg hoopgevend. Volgens hem zijn ook die andere studies vrijwel zeker nooit eerder grondig onderzocht. McIntyre: “Mann ging slecht om met zijn data, maar andere onderzoekers zoals Crowley, Lowery, Briffa en Esper zijn nog veel erger. Na 25 e-mails kreeg ik van Tom Crowley te horen dat hij alleen nog maar een gefilterde versie van zijn data had. Als argument voerde hij aan dat hij verhuisd was naar een andere universiteit. Andere onderzoekers geven vaak helemaal geen antwoord of laten weten dat ze data van collega-onderzoekers hebben gekregen en dat ze die niet kunnen vrijgeven. Keith Briffa meldt dat hij voor een studie 387 boomring-reeksen gebruikt, maar hij geeft niet prijs om welke locaties het gaat.”

“Mann noemt de studies onafhankelijk maar dat zijn ze absoluut niet. Mann, Jones, Briffa en Bradley zijn leidende figuren die achter veel van de studies zitten. Bovendien worden in verschillende studies dezelfde data gebruikt. Een ander punt van zorg is dat in geen enkele studie staat uitgelegd hoe de proxy's geselecteerd worden. Er is een aanzienlijke kans dat auteurs zich schuldig maken aan *cherry picking*, dat wil zeggen dat ze proxy's selecteren die hen goed uitkomen, zoals Mann et al. gedaan hebben. De onderzoeker Gordon Jacoby heeft mij bijvoorbeeld per e-mail laten weten dat hij de tien voor de temperatuur gevoeligste reeksen had geselecteerd uit een verzameling van 36 reeksen.”

McIntyre en McKittrick trekken uit hun spitwerk verstrekkende conclusies over het klimaatonderzoek als geheel: “Op het moment dat het IPCC besluit hun beleid, waarmee miljarden dollars gemoeid zijn, op zulk onderzoek te baseren zou er diepgaande controle moeten plaatsvinden. Dat is niet gebeurd en dat is echt een heel kwalijke zaak.”

Rob van Dorland van het KNMI heeft de aanstaande publicatie in *Geophysical Research Letters* bekeken, en is er inmiddels van overtuigd dat het IPCC hierdoor een flinke deuk in haar imago oploopt. “Voorlopig beschouw ik het nog als een incident, maar het is heel dubieus dat de klimaatreconstructie van Mann beide *peer review* -ronden van het IPCC zelf is gepasseerd zonder dat iemand die echt heeft gecontroleerd. Ik denk dat dit op de volgende IPCC-bijeenkomst in mei in Peking op de agenda zal staan.”

Het klimaatonderzoek op dit punt is ondertussen terug bij af. McIntyre: “Ons onderzoek zegt niet dat het momenteel niet opwarmt. Hoe extreem die opwarming echter is, afgezet tegen de laatste duizend jaar is nu net zo onzeker als voor de publicatie van Mann in 1998.” ■

Informatie

De twee artikelen van Mann *et al.*:

Mann, M.E., Bradley, R.S. and Hughes, M.K., 1998.

Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries, *Nature*, 392, 779-787.

Mann, M.E., Bradley, R.S. and Hughes, M.K., Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations,

Geophysical Research Letters, 26, 759-762, 1999.

De polemiek tussen McIntyre & McKittrick en Michael Mann:

www.uoguelph.ca/~rmckitri/research/trc.html

www.climate2003.com

www.realclimate.org

Het derde IPCC-rapport uit 2001:

www.ipcc.ch

Het grote NWT-klimaatdebat

Naar aanleiding van dit verhaal houdt NWO, de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, samen met *Natuurwetenschap & Techniek* binnenkort een symposium. Aan de orde komen het onderzoek van Mann *et al.*, de kritiek van McIntyre en McKittrick en de consequenties voor het klimaatbeleid. De hoofdrolspelers in dit internationale debat worden voor de gelegenheid uitgenodigd. De datum stond nog niet vast toen dit tijdschrift naar de drukker ging. Kijk daarom op www.natutech.nl of www.nwo.nl voor nadere gegevens.