

Nederlandse opdrachtgever betreft.

De hoeveelheid meteorologische data neemt bijna sneller toe dan de IT-ontwikkelplannen het kunnen bijhouden. Naast ECMWF (wereldwijd; weermodel, golven, EPS+Maand+Seizoensverwachtingen) gebruiken we GFS (wereldwijd; ook ensemble), UKMO (wereldwijd en regionaal model) en HiRLAM (regionaal model). En nog vinden we dat niet voldoende want voor speciale berekeningen, convectie en hindcasts gebruiken we ook twee maal daags WRF op 9 en 3 km resolutie. Vorig jaar werd mede daarvoor een eerste computercluster aangeschaft en dat is sindsdien al twee keer uitgebreid. Nalevering van lange datareeksen vereist opslagsystemen die vele TB omvatten en voldoende snelle lees/schrijf toepassingen vormen daarbij telkens een uitdaging. De tijd komt dichtbij dat het inhoudelijk managen van al die data niet meer door één persoon kan worden gedaan.

Datzelfde geldt voor het organiseren en plannen van alle plaatselijke en internationale IT en R&D projecten. Nieuwe bedrijfsbrede en op Sharepoint gebaseerde planningssystemen worden uitgerold en binnenkort zullen 7 mensen zich (deels) met die planning bezig houden.

Houden de meteorologen zich in dat numerieke geweld nog steeds staande? Toch wel, vooral als het aankomt op de uitleg en doorgifte van waarschuwingen is het één op één contact met de steeds deskundiger wordende klant onmisbaar. Alleen in de klassieke media zien we door de opkomst van Ipad en smartphones een terugval, maar dat viel al jarenlang te verwachten. Nieuwe toepassingen zoals Apps geven allerlei weerinformatie zonder tussenkomst van de meteoroloog. Op de maritieme markt is de hoeveelheid werk zelfs toegenomen door speciale operaties en het Walrouteren (zoeken van de optimale route voor schepen vanaf de wal).

Snellere groei zien we vooral in de afdelingen IT en Meteorologisch Onderzoek. Steeds meer (semi)automatische verwachtingsproducten moeten worden onderhouden (IT) en inhoudelijk worden verbeterd (onderzoek). Nieuwe nog kleine kantoren in het buitenland beschikken natuurlijk nog niet over eigen capaciteit en doen een toenemend beroep op deze afdelingen. De onderzoeksafdeling groeide mede daardoor de afgelopen 5 jaar met meer dan 100%. Daar waar meteorologen met hun wisselende diensten dezelfde werkkamer kunnen delen, vroegen deze kantoorafdelingen om meer ruimte en we zijn dus verheugd dat we op de dag van het 25-jarig bestaan het hele pand in gebruik konden nemen.

Literatuur

Van den Born, R., 2006: Meteo Consult in 20 jaar onstuimig gegroeid, Meteorologica, 15 no. 2, 21-23.

Acht regenbogen

KES FLOOR

Hoeveel verschillende regenbogen zijn er eigenlijk? Ik kom op acht. Zelf heb ik er drie gezien; voor de overige moet ik het hebben van foto's van anderen. Op enkele daarvan zag ik eerder al mijn zevende regenboog. Wie helpt me aan nummer acht?

Veel mensen kennen slechts één regenboog: de hoofdboog. Je ziet hem met de zon in de rug als je uitkijkt op door de zon beschenen regendruppels of andere vrij vallende waterdruppels. De boog ziet er als volgt uit: aan de buitenzijde is hij rood, aan de binnenzijde violet; de kleurevolgorde daartussenin is als bij de kleuren van het spectrum. De lichtsterkte van de boog is gewoonlijk het grootst aan de voet. De begrenzing is aan de rode kant scherper dan aan de violette kant.

Twee regenbogen zijn zelden precies gelijk. Verschillen kunnen optreden in de straal van de rode buitenrand van de boog, de breedte van de boog en de mate waarin de verschillende kleuren vertegenwoordigd zijn. Ook kan tijdens een bui het aanzien van de boog die we waarnemen, veranderen. Dat suggereert het bestaan van een groot aantal verschillende bogen.

Voor het zien van een regenboog is bovendien de positie van de waarnemer ten opzichte van de zon en de regen cruciaal. Elke waarnemer ziet zijn eigen regenboog op dezelfde manier als

iedereen zijn eigen schaduw ziet. Je zou dus zelfs kunnen zeggen dat het aantal regenbogen niet slechts één is, of een X-aantal, maar oneindig. Zelf ga ik er liever ergens tussenin zitten en houd ik het

aantal op acht (zie tabel). Dat lijkt niet zo veel, maar is toch aanzienlijk meer dan de twee die je bij een strikte definitie krijgt of de drie die ik tot nog toe heb gezien. Nummer één, de hoofdregenboog, heb ik



Figuur 1. Twee regenbogen boven Yellowstone Lake: de hoofdregenboog (nummer 1) en de weerspiegelde boog (nummer 3). Door golven op het wateroppervlak krult de weerspiegelde regenboog naar binnen. Tevens zijn zogeheten antischemeringsstralen zichtbaar, die convergeren in het tegenpunt van de zon en die dus zijn gericht op het middelpunt van de regenboog. Foto: Katie Rompala/Flickr.



Figuur 2. Drie regenbogen bij de Camden Haven River, ten noorden van Sydney, Australië. Naast een heldere hoofdregenboog (nummer 1) is rechts daarvan een lichtzwakkere bijregenboog (nummer 2) zichtbaar. De kleurenvolgorde is tegengesteld aan die van de hoofdboog. De hoofdregenboog stopt niet bij het wateroppervlak, maar is zo dichtbij dat hij doorloopt 'voor het water langs'. Verder is de weerspiegeling van de hoofdregenboog in het water (nummer 3) zichtbaar. Foto: Nola Davies.

al geïntroduceerd; wat zijn die overige zeven?

Stralengang

Wie vaker naar regenbogen kijkt, ontwaart buiten de hoofdboog (afgebeeld in alle figuren) geregeld een lichtzwakkere tweede boog (figuren 2, 3 en 5). Beide bogen hebben het tegenpunt van de zon als middelpunt, maar de straal van de bijboog is 51° , tegen die van de hoofdboog 42° . De bijregenboog of nevenregenboog heeft een rode binnenrand, het violet zit buiten en de kleurenvolgorde is dus tegengesteld aan

die van de hoofdboog. De stralengang van het licht dat de bogen vormt, wordt op talrijke plekken beschreven en geïllustreerd (zie o.a. Minnaert 1968, Können 1980, Lynch en Livingston 2006 en Floor 1977) en is voor beide gevallen gelijk: zonlicht valt in op (bolvormige) regendruppels, weerkaatst aan de binnenzijde van de druppel en treedt vervolgens weer uit, richting waarnemer. De hoofdregenboog wordt gevormd door licht dat één inwendige terugkaatsing heeft ondergaan en al met al een richtingverandering heeft ondergaan van 138° . We zien deze boog daardoor

op 138° van de zon, ofwel $180-138=42^\circ$ van het als middelpunt van de regenboog fungerende tegenpunt van de zon. De deviatie is het kleinst voor rood licht; dat bevindt zich daardoor het dichtst bij de zon, dus tegelijkertijd het verst van het tegenpunt van de zon en daarmee aan de buitenrand.

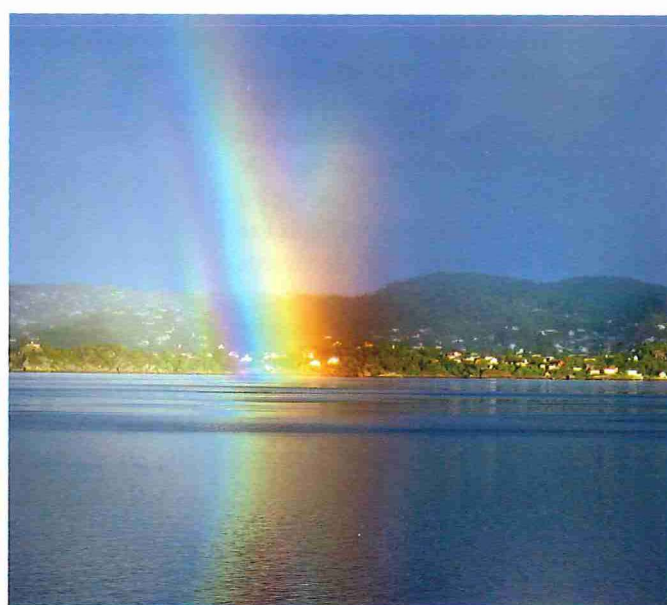
Bij de bijregenboog bedraagt het aantal inwendige terugkaatsingen niet één, maar twee; de resulterende deviatie is 231° . Opnieuw is het rood het dichtst bij de zon te zien, namelijk op 231° van de zon of op $231-180=51^\circ$ van het tegenpunt van de zon. De overige kleuren hebben een grotere afstand tot de zon en – in het geval van de bijregenboog – dus ook van het tegenpunt van de zon. Vandaar dat bij de nevenboog de binnenrand rood is en niet de buitenrand, zoals bij de hoofdboog.

Een derde regenboog?

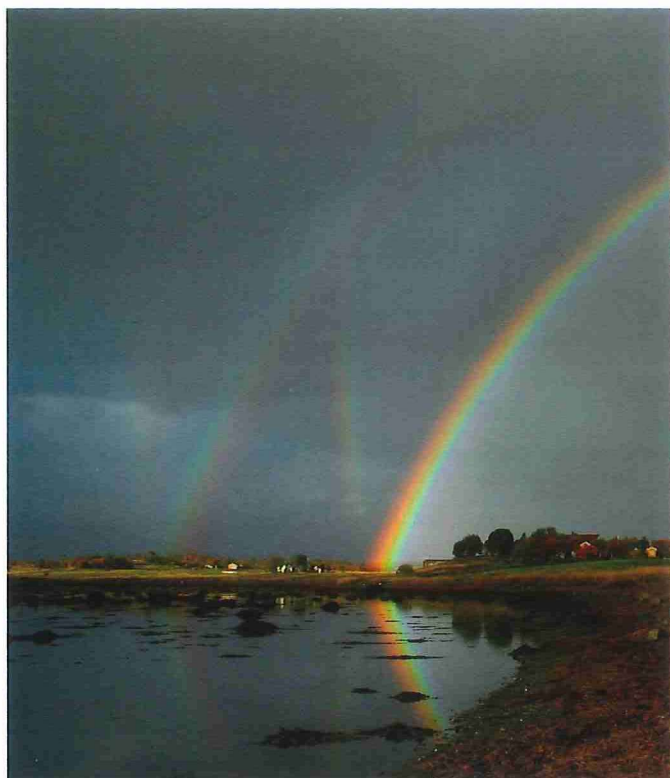
De stralengang van het licht bij het ontstaan van regenboog nummer 2, de bijregenboog, verschilt slechts in één opzicht van die van de hoofdregenboog, namelijk het aantal inwendige terugkaatsingen. Vandaar dat we een derde regenboog zouden kunnen gaan zoeken door uit te gaan van drie inwendige terugkaatsingen. Een op die manier gevormde regenboog is echter nooit aan de hemel waargenomen. Met de brekingswetten is wel de plaats te berekenen waar naar de boog gezocht moet worden. De optredende minimumdeviatie bedraagt circa 318° , zodat de derde boog als een kring om de zon met een straal van 42° zou moeten verschijnen. Door de



Figuur 3. Vier regenbogen bij Myvatn, IJsland. Van links af: de hoofdregenboog (nummer 1), de hoofdregenboog bij gespiegelde zon (nummer 5), de bijregenboog (nummer 2) en de bijregenboog bij gespiegelde zon (nummer 6). De weerspiegeling van de zon in rustig water treedt op als lichtbron voor de twee ongebruikelijke bogen. ©2001 Edwin Parée.



Figuur 4. Vier regenbogen bij het eiland Askøy, 12 kilometer ten noordwesten van Bergen, Noorwegen, 26 juli 2009. Boven de horizon links de hoofdregenboog (nummer 1) en daarnaast de spiegelboog (nummer 5); beide bogen snijden elkaar aan de horizon. Onder de horizon links de weerspiegelde hoofdregenboog (nummer 3) en rechts de weerspiegelde spiegelboog (nummer 7). Foto: Foto: Arne Halvorsen. Bron: Flickr.



Figuur 5. Zes regenbogen, Noorwegen. Boven de horizon van links af: de bijregenboog (nummer 2), de regenboog bij gespiegelde zon (nummer 5) en de hoofdregenboog (nummer 1). Onder de horizon van links af: de weerspiegelde bijregenboog (nummer 4), de weerspiegelde regenboog bij gespiegelde zon (nummer 7) en de weerspiegelde hoofdregenboog (nummer 3). Foto: Terje O. Nordvik.

derde terugkaatsing is het licht echter nog zwakker dan dat van de lang niet altijd waarneembare bijregenboog. Doordat die eventuele derde boog aan dezelfde kant van de hemel moet staan als de zon, zal het lichtzwakke verschijnsel gewoonlijk een heldere achtergrond hebben, wat het waarnemen erg moeilijk, zo niet onmogelijk maakt. Desondanks zou men onder bijzonder gunstige omstandigheden (bijvoorbeeld door de hand voor de zon te houden en met een toevallig aanwezige donkere wolkenlucht als achtergrond) in zeldzame gevallen valselijk op het zichtbaar worden van de derde boog kunnen hopen. Dat dit echter zeer onwaarschijnlijk is, blijkt, behalve uit het feit dat de boog nooit werd waargenomen, uit berekeningen met Fresnelcoëfficiënten. Daaruit kan worden afgeleid dat bij de hoofdboog de lichtsterkte van het weerkaatste licht minder is dan die van het licht dat de boog vormt. Bij de bijregenboog vinden we voor de lichtsterkten dezelfde orde van grootte maar een derde, in de praktijk dus niet zichtbare boog wordt volledig overstraald door het weerkaatste licht. De verzwakking van het licht, waarvan bij een, twee, respectievelijk drie inwendige terugkaatsingen in toenemende mate sprake is, speelt een ondergeschikte rol bij zonlicht dat zonder inwendige terugkaatsingen de druppel weer verlaat.

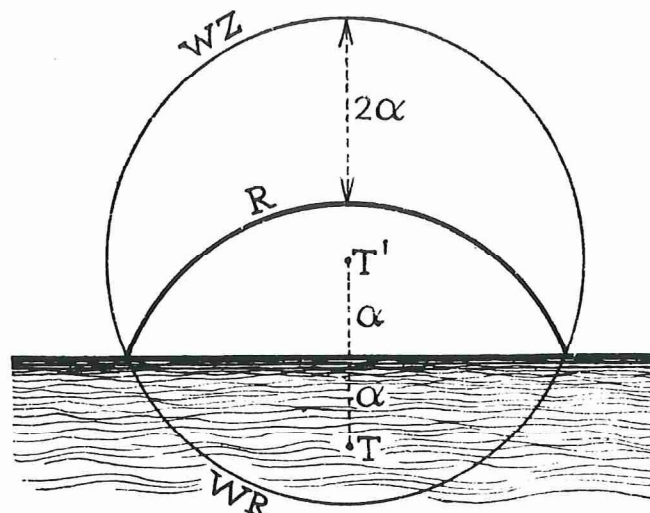
regenboog kunnen verwachten, omdat het licht, evenals bij de hoofd- en de bijregenboog, tweemaal gebroken is en bij breking steeds kleurschifting optreedt. Desondanks vormt zich op deze manier geen regenboog. In dit geval varieert de deviatie tussen 0° en 84° , waarbij de lichtsterkte afneemt bij toenemende deviatie. Door overlap van de kleuren is het licht wit, op een violette rand na, die echter veel te lichtzwak is om te worden waargenomen.

Starre eisen

In het voorgaande stelden we aan verschijnselen die kunnen doorgaan voor regenboog, impliciet de volgende eisen:

- het zonlicht moet direct invallen op regendruppels of eventueel andere vrij vallende waterdruppels, bijvoorbeeld van fonteinen, beregeningsinstallaties (Floor, 2008 en 2010) of watervallen,
- het licht dat de regenboog vormt, moet twee keer gebroken zijn en een of meer keer in de druppel inwendig zijn teruggekaatsd,
- het licht moet vervolgens rechtstreeks de waarnemer bereiken.

Op die manier komen we echter niet verder dan twee regenboogvarianten: de hoofdboog en de bijboog. Veel natuurliefhebbers en –fotografen die hun werk op internet publiceren, hebben aan deze criteria echter geen boodschap



Figuur 6. Schema van regenbogen bij een glad wateroppervlak. Het middelpunt van de regenboog R (nummer 1 in tabel) is het tegenpunt T van de zon; de zonshoogte is a . De regenboog R wordt weerspiegeld in water. Het middelpunt T' van deze weerspiegelde boog WR (nummer 3 in tabel) heeft dezelfde hoogte a als de zon. Regenboog R en zijn weerspiegeling in het rimpelloos wateroppervlak WR sluiten naadloos op elkaar aan. T' is ook het middelpunt van de regenboog bij weerspiegelde zon WZ (nummer 5 in tabel); deze snijdt de gewone regenboog R op de horizon. De afstand tussen de hoofdregenboog R en de regenboog bij weerspiegelde zon WZ bedraagt $2a$. Overigens wordt het bovenste deel van de regenboog bij weerspiegelde zon WZ vrijwel nooit waargenomen (bron: Minnaert 1968).

Ook hier zouden we een derde, kleurrijke

en kiezen, mogelijk uit onwetendheid, voor een soepeler ballotage. Voor hen is vooral de kleurenrijkdom en de boogvorm van belang (Floor 2006). De glorie, een verzameling van gekleurde ringen rond de schaduw van een waarnemer op bewolking, wordt op internet al een aantal malen aangeduid als regenboog. Veel vaker is dat nog het geval met haloverschijnselen als de kleurrijke circumzenitale boog en zelfs de minder kleurrijke maar meer gangbare kleine kring of kring van 22° . Voor al deze lichteffecten geldt dat ze zich aan de hemel voordoen, een boog- of cirkelvorm bezitten en kleurrijk zijn of op z'n minst iets van kleur vertonen. Regenen doet het echter niet, er zijn geen vrij vallende waterdruppels bij betrokken - bij halo's treden de lichteffecten zelfs op aan ijskristallen - en de stralengang wijkt af van wat we sinds René Descartes (1596-1650) bij regenbogen verwachten. Laatstgenoemd argument geldt overigens niet voor verschijnselen als mistbogen, wolkenbogen en dauwbogen, die we hier ook geen plaats gunnen in de rij van acht verschillende, erkende regenbogen (zie tabel): er zijn namelijk geen vrij vallende regendruppels bij betrokken.

Weerspiegelde regenbogen

Als we aan onze eigen eisen vasthouden, is op bovenbeschreven 'lekenmanier' het aantal mogelijke regenbogen niet uit te breiden. Om meer regenboogvarianten te

Tabel 1. Acht regenbogen

	figuren
1 hoofdregenboog	alle
2 bijregenboog of nevenregenboog	2, 3 en 5
3 weerspiegelde (hoofd)regenboog of gespiegelde (hoofd)regenboog	1, 2, 4 en 5
4 weerspiegelde bijregenboog of gespiegelde bijregenboog	5
5 regenboog bij gespiegelde zon of spiegelboog	3, 4 en 5
6 bijregenboog bij gespiegelde zon	3
7 weerspiegelde regenboog bij gespiegelde zon of weerspiegelde spiegelboog	4 en 5
8 weerspiegelde bijregenboog bij gespiegelde zon	Geen bekend

kunnen krijgen zullen we in ieder geval onze criteria wel moeten verruimen. Daarbij is de volgende concessie vrij algemeen gangbaar: we staan toe dat het licht dat de regenboog vormt, een extra reflectie ondergaat aan een wateroppervlak in de vrije natuur. De reflectie mag zowel vóór de interactie van het zonlicht met de regendruppel optreden als erna. Hoewel dit in de praktijk niet zo vaak zal voorkomen, vergroot het in incidentele gevallen toch de mogelijkheden om meer dan twee regenbogen te zien. Zo kan dan bijvoorbeeld de weerspiegeling van een hoofdregenboog in een wateroppervlak gelden als derde regenboog (figuren 1, 2 en 5); de weerspiegeling van de bijboog wordt regenboog nummer 4 (figuur 5).

De regenbogen die we weerspiegeld zien, zijn overigens niet dezelfde als de gewone hoofd- en bijboog. De waarnemingspositie van de weerspiegelde bogen ligt namelijk niet bij de eigenlijke waarnemer, maar bij een denkbeeldige collega op een positie die even ver onder het spiegelend oppervlak ligt als de waarnemer er zelf boven staat. De regendruppels die betrokken zijn bij de vorming van de weerspiegelde bogen, zijn dan ook andere dan de druppels die

de gewone bogen vormen. Het is zelfs mogelijk dat de weerspiegelde boog wél optreedt en de gewone boog niet. We zien als het verschijnsel volledig ontwikkeld is, dus echt vier verschillende bogen!

Boven rimpelloos water sluiten de bogen en hun spiegelbeeld naadloos op elkaar aan (zie het diagram van figuur 6). Als er golven op het wateroppervlak zijn, krult de gespiegelde boog naar binnen, zoals is te zien op figuur 1 (Können en Floor 2011).

Regenbogen bij gespiegelde zon

Bij weerspiegelde regenbogen, de nummers 3 en 4, vindt de reflectie aan het wateroppervlak plaats na de interactie tussen zonlicht en regen. Het is ook mogelijk dat die reflectie eerder plaatsvindt. Het spiegelbeeld van de zon treedt dan op als lichtbron voor zo te vormen hoofd- en bijregenbogen bij gespiegelde zon, de nummers 5 en 6. De gespiegelde zon staat even ver onder de horizon als de eigenlijke zon erboven staat. Het tegenpunt van de gespiegelde zon, dat fungeert als middelpunt van de bogen bij gespiegelde zon, bevindt zich even ver boven de horizon als de zon zelf, maar zit precies aan de tegenovergestelde zijde van de hemelkoepel (zie het diagram

van figuur 6). De bogen ontmoeten elkaar aan de horizon.

Als de zon aan de horizon staat, vallen de spiegelbogen samen met de gewone regenbogen. Naarmate de zon hoger aan de hemel komt te staan, zakt de gewone regenboog en komt de regenboog bij weerspiegelde zon omhoog. Gewoonlijk ontbreekt het bovenste gedeelte, zodat men slechts een of twee stukken van de boog ziet oprijzen vanaf het punt waar de

gewone regenboog en de horizon elkaar snijden.

De beide bogen bij weerspiegelde zon kunnen op hun beurt weerspiegeld worden in een wateroppervlak. Op die manier ontstaan de weerspiegelde regenboog bij gespiegelde zon en de weerspiegelde bijregenboog bij gespiegelde zon. Eerstgenoemde is afgebeeld in de figuren 4 en 5. Van de weerspiegelde bijregenboog bij gespiegelde zon heb ik helaas geen afbeelding of vermelding kunnen vinden. Wie helpt me aan een foto?

Literatuur

Floor, C., 1977: Regenbogen, *Natuur en Techniek* 45 (12) 814-833.

--- 2006: Een derde regenboog? , *Zenit* 33 (10) 467-471.

--- 2008: Beregenbogen, *Zenit* 35 (5) 248-249.

--- 2010: Beregenbogen en spuitbogen, *Het Weer Magazine* 11 (2), 22-23.

Können, G.P., 1980: Gepolariseerd licht in de natuur, Thieme, Zutphen.

Können, G.P. en Floor, C., 2011: Een regenboogreflectie die naar binnen krult, *Zenit* 38 (4) 172-177.

Lynch, D.K., en Livingston, W., 2006: Licht en kleur in de natuur, de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuurwetenschap en Techniek 84, *Veen Magazines*, Diemen.

Minnaert, M., 1968: De natuurkunde van 't vrije veld I: Licht en kleur in het Landschap, Thieme, Zutphen.

Internet

www.keesfloor.nl/artikelen/rb.htm

www.dbnl.org/tekst/minn004natu01_01/downloads.php

Ons filiaal in Indië

HUUG VAN DEN DOOL (CLIMATE PREDICTION CENTER, NCEP)

Wie de geschiedenis van het KNMI (1854-heden) bekijkt komt veel tegen over filialen. De locatie Utrecht/De Bilt is natuurlijk de hoofdmoot van de KNMI-geschiedenis, maar de filialen te Amsterdam, Rotterdam, Den Helder, Zierikzee, de vliegvelden Schiphol, Beek, Eelde, Zestienhoven enz. mogen er zijn. Filialen binnen onze landsgrenzen, dat wel. Wat in geen enkel KNMI gedenkboek staat is dat we in de praktijk ook een filiaal in Indonesië hadden, met een rijke en lange geschiedenis, belangrijke bijdrages aan het vak, blootstelling aan verschijnselen die we in Nederland minder zien, en een levendige personeelsuitwisseling met het KNMI. Officieel was het zogeheten Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium (hier afgekort tot KMMO) te Batavia geen KNMI filiaal, maar U weet het, historici poneren wel eens iets nieuws, en dit is mijn stelling: het KNMI had tot 1950 een filiaal in het voormalig Nederlands Indië.

Herinnering aan Indië

Er zijn dingen die je weet, maar toch niet altijd beseft. Aan het hierboven

geponeerde filiaal werd ik sterk herinnerd toen ik met Cor Schuurmans een 2-delig stuk schreef in *Meteorologica* (2010, sept

en dec nummers) over de geschiedenis van de lange termijnverwachting zoals die werd beoefend op het KNMI. Daaruit