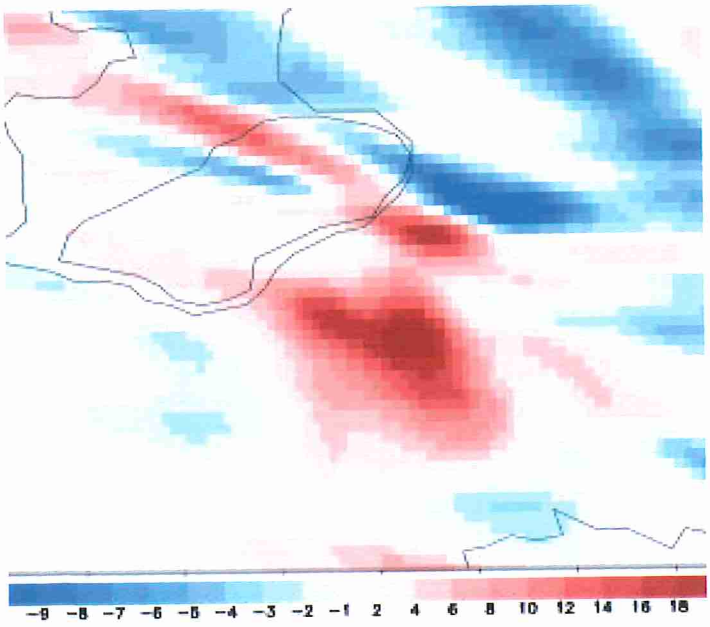
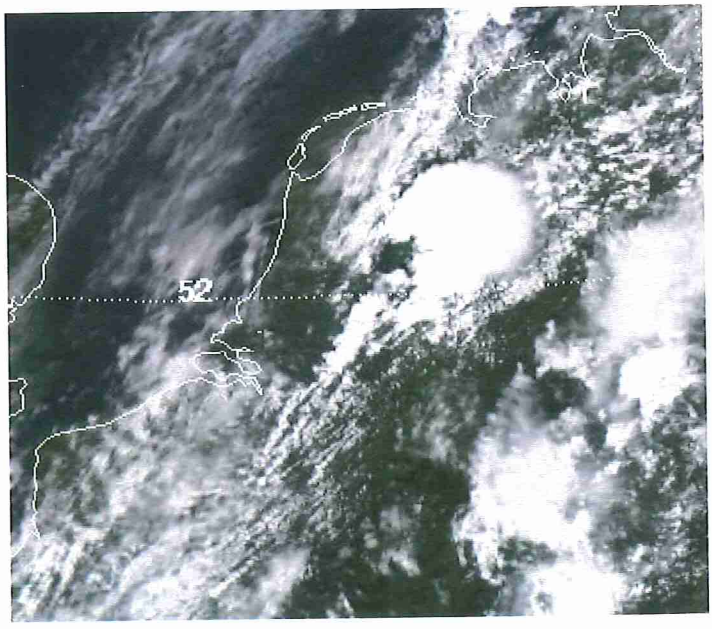
JAARGANG 17 - NR. 3 - SEPTEMBER 2008

# METEOROLOGICA

Hogere maximumtemperaturen in Nederland?




Het effect van de Veluwe op de neerslagverdeling




Zware buien met hagel en onweer op 22 juni 2008

UITGAVE VAN DE NEDERLANDSE VERENIGING VAN BEROEPSMETEOROLOGEN

# GROEN LICHT VOOR PLANT & BODEM

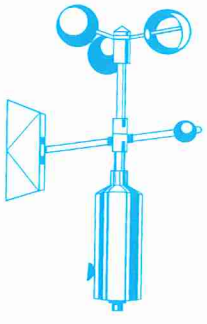
CIRAS-2

## WETENSCHAPPELIJKE INSTRUMENTEN VOOR FOTOSYNTHESEMETINGEN

**Nieuw bij Wittich & Visser: de wetenschappelijke instrumenten van PP systems. Deze instrumenten voor plant- en bodemfysiologisch onderzoek worden wereldwijd gebruikt in landbouwkundig onderzoek.**

Het paradepaardje is de CIRAS-2: de standaard voor fotosynthese- en gasuitwisselingsstudies. De CIRAS-2 is een echte differentiële gasanalysator met 4 IRGA's geschikt voor open en gesloten systemen. De CIRAS-2 heeft een groot $CO_2$- en temperatuurbereik (0..10.000 ppm en -8..+40°C t.o.v. omgeving). Daarmee is de CIRAS-2 ideaal voor studies in kassen of naar de invloed van het broeikaseffect op plant en bodem.

**Kijk op www.wittich.nl voor uitgebreide informatie!**



ingenieursbureau **wittich & visser**

wetenschappelijke en meteorologische instrumenten

tel 070 3070706 | fax 070 3070938 | info@wittich.nl | www.wittich.nl

JAARGANG 17 - NR.3 - SEPTEMBER 2008

## ARTIKELEN

**4 EXTREME MAXIMUMTEMPERATUREN IN DE TOEKOMST**
Andreas Sterl, Geert Jan van Oldenborgh, Wilco Hazeleger, Henk Dijkstra

**7 KAN MEN TWEE KEER IN DEZELFDE RIVIER STAPPEN?**
Nanne Weber

**11 DE INVLOED VAN HOOGTE EN LANDGEBRUIK OP HET NEERSLAGMAXIMUM OP DE VELUWE**
Herbert ter Maat, Eddy Moors, Ronald Hutjes, Ruud Janssen en Han Dolman

**18 HET EERSTE KLIMAATADVIES IN NEDERLAND: ONTSTAAN, INHOUD EN GEVOLGEN (DEEL 1)**
Cor Schuurmans en Fons Baede

**22 ZWAAR ONWEER EN GROTE HAGELSTENEN OP 22 JUNI 2008**
Jeroen van Zomeren

## RUBRIEKEN

Opmerkelijke publicaties 25
Ingezonden brief 27
Korte berichten 29
Seizoensoverzicht 31
NVBM Mededelingen 33

## COLUMNS

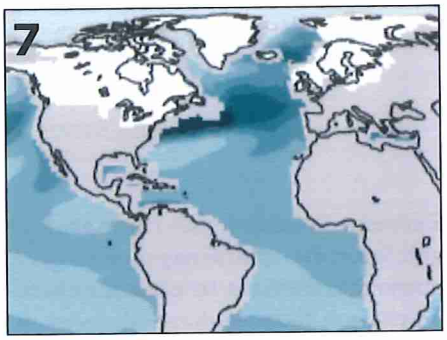
**KWIK I** 17
Huug van den Dool

**KWIK II** 34
Henk de Bruin

## ADVERTENTIES

Wittich en Visser 2
Bakker & Co 12
Ekopower 16
Meteo Consult 27
Telvent Almos 32
CaTeC 36

Colofon 35



## OMSLAG

►**Voorzijde**

**Grote foto.** Zonsondergang na een hete, zonnige dag. De toenemende concentratie van broeikasgassen, vooral $CO_2$, in de atmosfeer leidt tot stijgende temperaturen. Echter, het bepalen van extremen en hun mogelijke veranderingen is nogal lastig omdat ze zo zeldzaam zijn. Andreas Sterl en coauteurs bestuderen in hun artikel het gedrag van $T_{100}$: de temperatuur die gemiddeld eens per 100 jaar optreedt. Deze temperatuur lijkt sneller toe te nemen dan de gemiddelde temperatuur (zie bladzijde 4).

**Kleine figuur links.** Het effect van de topografie van de Veluwe op de neerslag voor een wintersituatie. Gegeven is het verschil in de maandsom van de neerslag (in mm) tussen de controle simulatie (met topografie) en de simulatie zonder topografie. In het artikel van Herbert ter Maat e.a. wordt ingegaan op de effecten die de Veluwe, zowel de topografie als het landgebruik, heeft op de neerslag in Midden-Nederland (zie bladzijde 11).

**Kleine figuur rechts.** Op deze foto van de Aqua satelliet, genomen op 22 juni 2008, 12.25 UTC is in het oosten van Nederland duidelijk het buiencomplex zichtbaar dat met veel hagel en onweer gepaard ging. Jeroen van Zomeren heeft de bijzondere situatie van die dag nader geanalyseerd (foto: MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC; zie bladzijde 22).

Deze uitgave is mede tot stand gekomen dankzij

WAGENINGEN UNIVERSITEIT
OMGEVINGSWETENSCHAPPEN

Meteorologie en Luchtkwaliteit
Wageningen Universiteit

## VAN DE HOOFDREDACTEUR

KLEUR, dat is het eerste dat opvalt als u deze editie van Meteorologica openslaat. Steeds meer informatie is alleen in kleur beschikbaar (om van animaties maar te zwijgen) en dan zijn 256 grijstinten vaak ontoereikend. Als experiment en als voorproefje is dit keer dus besloten tot *full colour*. Hopelijk bevalt het en kan Meteorologica vanaf maart 2009 continu in kleur worden verspreid. Het kost echter wel wat extra, en om dat deels te bekostigen zal het abonnementsgeld, dat al jaren constant is ondanks de inflatie, vanaf 2009 met 3,- euro per jaar omhoog gaan. Geen al te groot probleem hoop ik.

Wat dit nummer betreft: veel klimaatgerelateerde onderwerpen. Andreas Sterl laat met statistische methoden, die hij toepast op de uitvoer van vele runs van een klimaatmodel, zien dat de verwachte stijging van extreme temperaturen groter is dan de stijging van de gemiddelde temperatuur. Het klimaat staat natuurlijk ook centraal in de intreerede van Nanne Weber als bijzonder hoogleraar Klimaatmodellering en Klimaatanalyse van de Universiteit Utrecht. In dit nummer is een verkorte versie opgenomen van haar oratie. Herbert ter Maat heeft onderzocht wat de invloed is van de topografie en het landgebruik van de Veluwe op de hoeveelheid neerslag. Doordat veel landgebruik verandert is dat een actuele vraag die hij en zijn collega's proberen te beantwoorden. Hoe het hele huidige klimaatonderzoek op gang is gekomen in Nederland wordt door Fons Baede en Cor Schuurmans in een tweetal artikelen uit de doeken gedaan. In dit nummer staat deel 1 van dit tweeluik. Ook de bijdrage van Aarnout van Delden betreft een klimaatonderwerp, maar hij zoekt het hogerop in de atmosfeer. Jeroen van Zomeren, in de enige synoptische bijdrage dit keer, kijkt terug op het heftige noodweer dat vooral het oosten van Nederland trof op 22 juni van dit jaar. Verder natuurlijk de gebruikelijke, en dit keer op elkaar afgestemde, bijdragen van onze gewaardeerde columnisten. Veel leesplezier.

Leo Kroon

# Extreme maximumtemperaturen in de toekomst

ANDREAS STERL[1], GEERT JAN VAN OLDENBORGH[1], WILCO HAZELEGER[1], HENK DIJKSTRA[2]
([1] KNMI; [2] IMAU)

**Extreme waarden van meteorologische parameters zoals neerslag en temperatuur hebben veel grotere gevolgen voor de maatschappij dan gemiddelden. Het is dus belangrijk om veranderingen in extremen in een veranderend klimaat te onderzoeken. Extremen zijn per definitie zeldzaam, en er zijn lange tijdreeksen nodig om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen. In het ESSENCE project is de ontwikkeling van het klimaat tussen 1950 en 2100 maar liefst 17 keer doorgerekend. Dat levert genoeg data voor een betrouwbare schatting van de 100-jaar terugkeer temperatuur ($T_{100}$). Dit is de temperatuur die gemiddeld eens per 100 jaar optreedt. Het model heeft een warme bias, dus het overschat (extreme) temperaturen. Zelfs na een biascorrectie vinden we voor het einde van deze eeuw $T_{100}$-waarden van meer dan 50°C in grote delen van de bewoonde wereld. Voor Nederland vinden we waarden van rond de 44°C. Dat is consistent met de in de KNMI'06 scenario's gemaakte aannames.**

## Inleiding

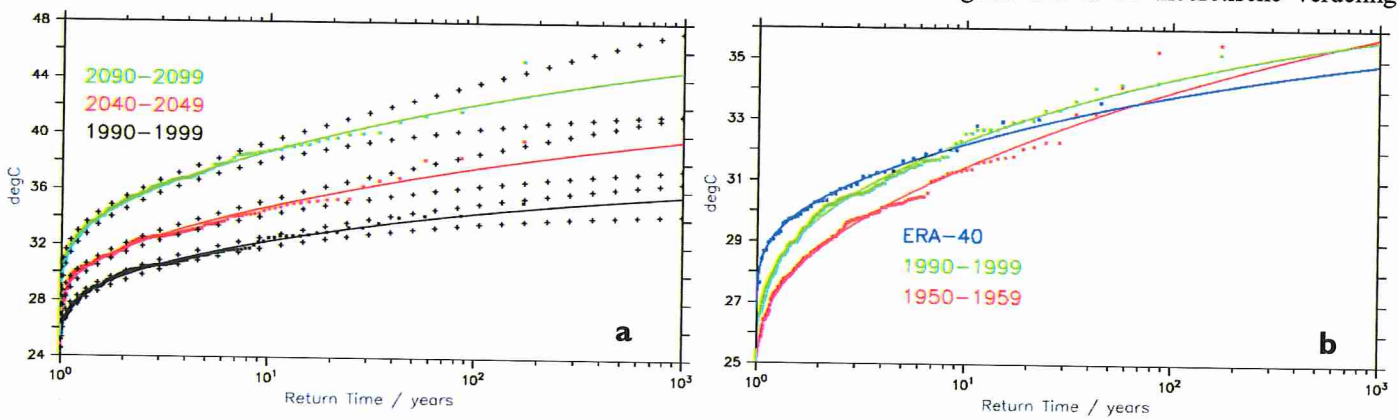
De toenemende concentratie van broeikasgassen, met name $CO_2$, in de atmosfeer leidt tot stijgende temperaturen. Het recente Fourth Assessment Report (AR4) van het IPCC (2007) gaat uit van een stijging van de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur van tussen de 1,1°C en 6,4°C aan het einde van deze eeuw ten opzichte van het gemiddelde over 1980-1999. Daarbij liggen de 'meest waarschijnlijke' waarden tussen de 3 en 4 graden. Veel belangrijker dan de wereldgemiddelde temperatuur zijn echter lokale maxima, omdat die een directe invloed op tal van sectoren (bijvoorbeeld volksgezondheid, landbouw, energiebehoefte) kunnen hebben.

Het bepalen van extremen en hun mogelijke veranderingen is echter lastig. Ze zijn zeldzaam (anders waren ze niet extreem), en daarom moet meestal vanuit een korte tijdreeks geëxtrapoleerd worden. Dit artikel gaat over de temperatuur die gemiddeld eens per 100 jaar optreedt ($T_{100}$). Vaak moet die uit een waarneemreeks van maar 30 jaar geschat worden, wat natuurlijk tot grote foutenmarges leidt. Nog moeilijker wordt het, als het onderliggende klimaat verandert als gevolg van het broeikaseffect. Eerdere resultaten (Kharin et al. 2007) beperken zich daarom tot relatief gematigde extremen, zoals $T_{20}$, de temperatuur met een terugkeertijd van 20 jaar. Het IPCC rapport beperkt zich daarom tot de vaststelling dat de extreme temperaturen sneller stijgen dan de gemiddelde temperaturen. Deze beperkingen gelden niet voor de resultaten van het ESSENCE project (Dijkstra et al., 2007; Sterl et al., 2008). In ESSENCE is de ontwikkeling van het klimaat tussen 1950 en 2100 maar liefst 17 keer doorgerekend. Daarbij is gebruik gemaakt van het ECHAM5/MPI-OM klimaatmodel, dat door het Max-Planck-Instituut voor Meteorologie in Hamburg is ontwikkeld. Bij een vergelijking tussen verschillende (voor het AR4 gebruikte) modellen kwam dit model als een van de beste uit de bus (Van Ulden en van Oldenborgh, 2006). Voor de 'historische' periode 1950-2000 werden de waargenomen concentraties van broeikasgassen en aërosolen voorgeschreven. Vanaf 2001 volgen deze concentraties het SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) A1b scenario. Dit scenario leidt tot een $CO_2$-concentratie van ongeveer 700 ppm (*parts per million*) in 2100. Nu is deze concentratie ongeveer 385 ppm.

Elk van deze 17 simulaties (runs) begint met een kleine verstoring van de begintoestand. Doordat de atmosfeer chaotisch is, zijn de runs na een paar weken hun begintoestand 'vergeten' en vertoont elke run zijn eigen variaties, onafhankelijk van de andere runs. Door over alle leden van het ensemble te middelen kan het broeikassignaal van de interne variabiliteit worden gescheiden (Dijkstra et al., 2007). Aan de andere kant leveren 17 realisaties van het klimaat ook een grote hoeveelheid data op, waardoor de bovengenoemde beperkingen bij het schatten van extremen komen te vervallen.

## Bepaling van mogelijke extremen

Om de temperatuurextremen en hun ontwikkeling in de tijd te kunnen bepalen, zijn de gesimuleerde 150 jaren in blokken van 10 jaar (1950-1959, 1960-1969, etc.) opgedeeld. In elk blok zijn de 170 (10 x 17) jaarlijkse maxima van de 2m-temperatuur vervolgens aan een GEV (*Generalized Extreme Value*) distributie gefit. Dat is de theoretische verdeling




*Figuur 1. GEV fit voor de jaarlijkse maximum 2m temperatuur voor Nederland (5,6°E, 51,3°N) als functie van de terugkeertijd (zie vergelijking (2)) voor verschillende tijdvakken, met de waarden uit ERA-40 voor de periode 1958-2001. De gekleurde lijnen zijn de fits aan de actuele waarden, die door de gelijk gekleurde puntjes weergegeven worden. De zwarte plustekens in panel a geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de desbetreffende fit aan.*

van blok-maxima (Coles, 2001):

$$G(x) = \exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\} \quad (1)$$

Hier zijn μ, σ en ξ respectievelijk de locatie-, spreidings- en vormparameter. G(x) is gedefinieerd voor x zodanig dat

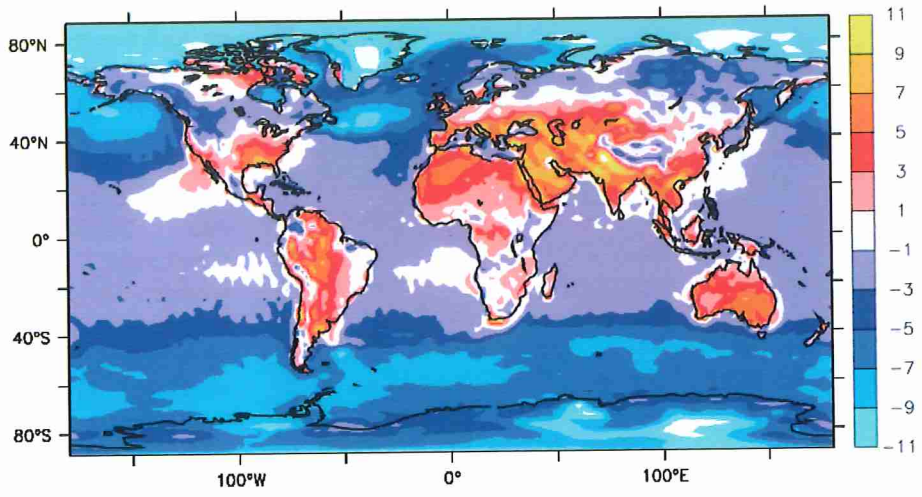
$$1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) > 0$$

zodat de verdeling voor negatieve waarden van ξ een harde bovengrens van $T_{max}$ = μ-σ/ξ heeft. De terugkeertijd T(x) voor de waarde x wordt door het 1-1/T(x)-percentiel

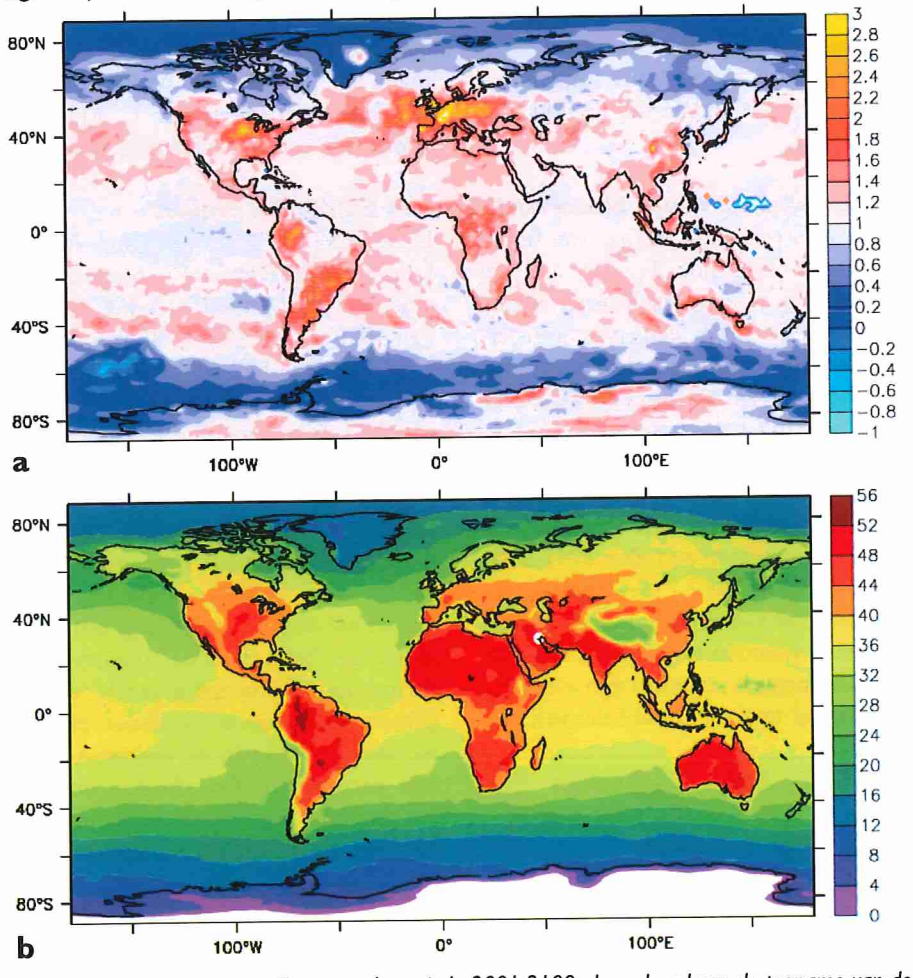
$$T(x) = \frac{1}{1-G(x)} \quad (2)$$

gegeven.

In figuur 5 is een voorbeeld van een dergelijke fit zien. Door het grote aantal waarden per tijdvak (170) zijn de foutenmarges voor de resulterende schattingen van de verdelingparameters klein. Voor het roosterpunt 'Nederland' (zie ook figuur 4) wordt dit aangetoond in figuur 1a. In deze figuur is de temperatuur samen met het 95% betrouwbaarheidsinterval als functie van de terugkeertijd uitgezet. Het betrouwbaarheidsinterval is met een 'bootstrap' methode met 1000 herhalingen bepaald. De figuur laat zien dat de GEV-fit de data goed representeert. De spreiding van de modelwaarden (gekleurde puntjes) rond de gefitte curven is klein, en het betrouwbaarheidsinterval voor $T_{100}$ is kleiner dan ±2°C. Soortgelijke conclusies gelden ook voor andere locaties. Kharin et al. (2007) laten zien dat de spreiding tussen verschillende modellen al voor de 20-jaar terugkeertijd meerdere graden bedraagt. De sampling fout in ESSENCE is dus veel kleiner dan de modelfout.




*Figuur 2. $T_{100}$ uit ESSENCE (hele ensemble) minus $T_{100}$ uit ERA-40 voor de gehele ERA-40 periode (1958-2001).*

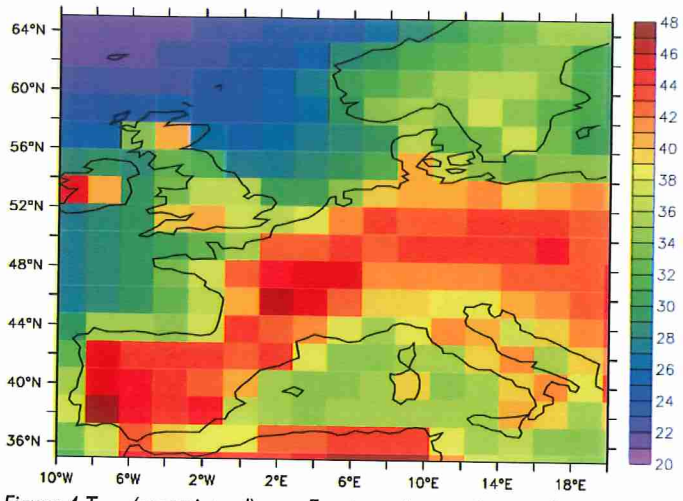



*Figuur 3. a) De toename van $T_{100}$ over de periode 2001-2100 als veelvoud van de toename van de gemiddelde temperatuur over dezelfde periode. Rood (blauw) betekent een snellere (langzamere) toename van $T_{100}$ dan de gemiddelde temperatuur. b) $T_{100}$ uit ESSENCE voor de periode 2090-2099, gecorrigeerd voor de afwijking van ERA-40 in het huidige klimaat (Figuur 2).*

## Resultaten

Voor de periode 1958-2001 zijn de uit het model afgeleide $T_{100}$-waarden vergeleken met waarden afgeleid uit de ERA-40 heranalyse (Uppala et al., 2005) en uit de HadGHCND dataset (Caesar et al., 2006) van waargenomen maximumtemperaturen. De beide datasets komen goed overeen, maar bij gebrek aan voldoende waarnemingen heeft HadGHCND in grote gebieden van de wereld geen data. Figuur 1b laat zien dat voor Nederland de $T_{100}$-waarden uit ESSENCE nauwelijks verschillen van die uit ERA-40. Helaas geldt dit niet voor andere gebieden op aarde (figuur 2). De gesimuleerde terugkeerwaarden zijn tot meer dan 10°C hoger dan de waarden uit de heranalyse, en de overschatting is het hoogst in droge gebieden (Middellandse Zeegebied, Midden-Oosten, Zuid-Afrika en Australië). Voor Siberië worden de maxima juist onderschat. Ook voor de oceanen onderschat het model de maxima. In ESSENCE is de zeewatertemperatuur iets lager dan in ERA-40. Omdat de variabiliteit over zee laag is, worden de extremen door de gemiddelde temperaturen bepaald en komen in ESSENCE dus lager uit.

Het verschilpatroon in figuur 2 lijkt heel goed op wat Kharin et al. (2007; hun figuur 4) voor de 20-jaar terugkeertijden uit 16 AR4 modellen gevonden hebben. De overschatting van extreme temperaturen is dus een algemene eigenschap van de huidige generatie klimaatmodellen. Voorzichtigheid is daarom geboden: dezelfde modelfouten, die nu voor een




*Figuur 4. $T_{100}$ (gecorrigeerd) over Europa - uitvergroting van Figuur 3b.*

overschatting van extremen in bijvoorbeeld het Midden-Oosten zorgen, zouden bij een verdere stijging van de temperaturen ook een rol kunnen gaan spelen in gebieden waar de overschatting nu nog klein is, zoals in Nederland.

Figuur 3a laat de toename van $T_{100}$ als veelvoud van de toename van de gemiddelde temperatuur zien. De grootste toename vindt plaats in gebieden waar de bodem uitdroogt. Net zoals al door Kharin et al. (2007) werd gevonden, nemen de extremen sneller toe dan de gemiddelden. De toename van extremen wordt door veranderingen in zowel de locatieparameter $\mu$ als in de spreidingsparameter $\sigma$ veroorzaakt. De eerste geeft het effect weer van de toename van de gemiddelde temperatuur, de tweede van een toenemende variabiliteit van het klimaat (zie vergelijking (1)). De verandering van $\mu$ is overal positief en groter boven land dan boven zee. De grootste veranderingen treden op over Zuid-Europa en het noorden van Zuid-Amerika, gevolgd door Zuid-Afrika en het Midden-Oosten. De verandering van de spreidingsparameter $\sigma$ heeft een ander patroon. Boven de meeste landgebieden neemt $\sigma$ toe en de grootste toename vindt plaats in Europa en delen van Noord-Amerika. Deze patronen komen goed overeen met de door Clark et al. (2006, hun figuur 4) gevonden patronen. De vormparameter verandert overigens niet systematisch en blijft negatief. De maximumtemperaturen houden een harde bovengrens.

Figuur 3b toont $T_{100}$ voor de periode 2090-2100 ('toekomst'). De waarden zijn gecorrigeerd voor de afwijkingen in het huidige klimaat ('nu') door het verschil met ERA-40 in het huidige klimaat (figuur 2) van de ruwe modeluitvoer af te trekken,

$$T_{100}^{corr}(toek) = T_{100}(toek) - \left(T_{100}(nu) - T_{100}^{ERA40}\right) = T_{100}^{ERA40} + \left(T_{100}(toek) - T_{100}(nu)\right) = T_{100}^{ERA40} + \Delta T_{100} \quad (3)$$

Anders uitgedrukt wordt de door het model berekende toename ($\Delta T_{100}$) opgeteld bij de uit ERA-40 afgeleide waarden. Volgens deze figuur bereiken de temperaturen extremen van 50°C in een groot gedeelte van de tropen (binnen 30° van de evenaar). Dat gebied omvat dichtbevolkte regio's zoals India en het Midden-Oosten. Andere gebieden zoals Europa, de VS en Australië krijgen met temperaturen te maken die de 40°C ver overstijgen.

## Wat betekent dit voor Nederland?

Figuur 4 is een uitvergroting van figuur 3b en laat zien hoe $T_{100}$ er aan het einde van deze eeuw in Europa uitziet. Nederland is maar een paar roosterpunten 'groot', waarvan de meeste ook nog deels boven zee liggen. We zullen in het vervolg het roosterpunt 5,625°E, 51,3°N als representatief voor 'Nederland' gebruiken. Voor dit punt laat figuur 5 de histogrammen van gesimuleerde jaarmaxima voor de perioden 1991-2000 ('nu') en 2090-2099 ('toekomst') zien. De gefitte GEV-distributies en de daaruit berekende waarden van $T_{100}$ en $T_{max}$ (de vormparameter is negatief) zijn eveneens in de figuur te zien. Terwijl de piek van de verdeling (die door de locatieparameter $\mu$ bepaald wordt) maar ongeveer 5°C opschuift, neemt T100 met bijna 8°C toe. Dat komt omdat de verdeling breder wordt (de spreidingsparameter $\sigma$ wordt groter): het klimaat wordt in dit opzicht variabeler. De toename van bijna 8°C komt goed overeen met de projecties in de KNMI'06 scenario's (KNMI, 2006). Worden de in de scenario's genoemde waarden voor de 'yearly warmest day' in 2050 doorgetrokken naar 2100 en een herhaaltijd van 100 jaar, dan komt eenzelfde toename tevoorschijn (A. Klein Tank, pers. mededeling), echter met veel grotere foutenmarges.

Voor de toekomstige periode komt $T_{100}$ (ongecorrigeerd) uit op 42,2°C, of 7,9°C meer dan nu (figuur 5 en tabel 1). Als we, zoals in de figuren 3b en 4, voor de afwijking ten opzichte van ERA-40 corrigeren, komen we uit op 41,6°C. We moeten ons natuurlijk afvragen hoe goed ERA-40 eigenlijk is. We kijken daarvoor naar stationsobservaties. In eerste instantie is dat oneerlijk, want modeluitvoer, zoals die uit ESSENCE of ERA-40 komt, is representatief voor een groot gebied, terwijl een station maar op een plek meet. De jaarmaxima van stationswaarden zullen altijd hoger liggen dan de roostercel waarden, omdat de variabiliteit ($\sigma$) groter is. Maar we kunnen als eerste benadering aannemen

| | locatie | tijdvak 'nu' | $T_{100}$(nu) | $T_{100}$(toek) = $T_{100}$(nu) + 7,9°C |
|---|---|---|---|---|
| ESSENCE | 5,625°E, 51,3°N | 1990-1999 | 34,3 | 42,3 |
| ERA-40 | 6,0°E, 51,0°N | 1958-2001 | 33,7 | 41,6 |
| station De Bilt | 5,2°E, 52,1°N | 1901-2007 | 36,1 | 44,0 |
| station Eindhoven | 5,4°E, 51,4°N | 1951-2007 | 37,3 | 44,2 |
| station Maastricht | 5,8°E, 50,9°N | 1906-2007 | 37,7 | 44,6 |

*Tabel 1. $T_{100}$ voor 'Nederland'. De 'toekomst'-waarden (2090-2099) zijn verkregen door de door het model bepaalde toename (7,9°C) bij de waarden voor het huidige klimaat ('nu') op te tellen.*

## Het ESSENCE project

In het ESSENCE project (http://www.knmi.nl/~sterl/Essence) is met een klimaatmodel zeventien keer het klimaat van 1950 tot het jaar 2100 nagebootst. Elke simulatie had een miniem andere begintoestand in 1950. Door het chaotische karakter van het weer laat elke versie van het klimaatmodel daarom een iets ander klimaat zien. De verschillen worden veroorzaakt door de natuurlijke variaties. Het gemiddelde van de zeventien berekeningen, waar dus de natuurlijke variaties grotendeels zijn uitgefilterd, toont de klimaatverandering door de toename van broeikasgassen in het recente verleden en wat we mogelijk nog in de toekomst kunnen verwachten. De afwijkingen van het gemiddelde geven een schatting van de natuurlijke fluctuaties ('het weer'). De berekeningen werden uitgevoerd op een supercomputer in het Duitse Stuttgart. De berekeningen hebben in totaal acht maanden geduurd en ongeveer vijftig TeraByte (= ruim duizend DVD's) aan data opgeleverd.

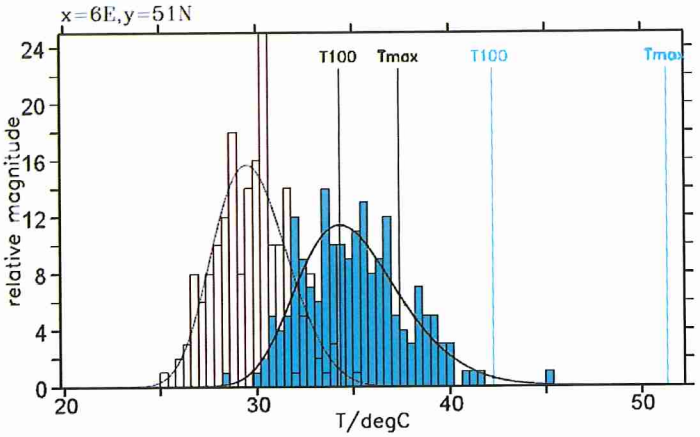
dat de toename van de stationsdata gelijk is aan de toename van de roostercel data. We maken dan eigenlijk gebruik van vergelijking (3), maar corrigeren niet voor de afwijking van ERA-40, maar voor de afwijking van de desbetreffende stationswaarde. Het resultaat is voor drie stations in de roostercel 'Nederland' aangegeven in tabel 1. Op grond van de discussie hierboven mag eenieder zelf beslissen, welk getal in de kolom 'toekomst' hij/zij het meest vertrouwt!


**Samenvatting**

Het ESSENCE-ensemble maakt het door zijn omvang mogelijk om in de toekomst mogelijke extreme temperaturen met een lage statistische fout te schatten. Deze extremen stijgen veel sneller dan de gemiddelde temperaturen. Voor grote delen van de bewoonde wereld kunnen extreme temperaturen van rond de 50°C verwacht worden. Voor Zuid-Europa lopen deze waarden op tot 48°C, en voor Nederland tot 42-44°C. Omdat dergelijke temperaturen grote gevolgen op het functioneren van de maatschappij kunnen hebben, verdient het onderzoek naar extreme temperaturen meer aandacht. De grote modelbias leidt nog tot relatief grote onzekerheden in deze uitkomsten en moet worden verkleind. De hier gepresenteerde resultaten ondersteunen en preciseren de resultaten van het laatste IPCC-rapport en van de KNMI'06-scenario's.



*Het ESSENCE project is uitgevoerd met ondersteuning van DEISA, HLRS, SARA en NCF (NCF projecten NRG-2006.06, CAVE-06-023 en SG-06-267). We danken het DEISA Consortium (mede gefinancierd door de EU, FP6 projecten 508830 /031513) voor ondersteuning binnen de DEISA Extreme Computing Initiative (www.deisa.org). We danken Camiel Severijns (KNMI) en de staf van SARA en HRLS voor technische ondersteuning en het Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg voor het ter beschikking stellen van hun model.*


*Figuur 5. Histogrammen van jaarmaxima voor 'Nederland' (5,625°E en 51,3°N) voor de tijdvakken 1991-2000 (open) en 2091-2100 (blauw). De breedte van de bins is 0,4°C. De dunne en dikke lijnen zijn de bijbehorende GEV fits. De verticale lijnen geven de berekende waarden van $T_{100}$ en $T_{max}$ weer. De waarden in deze figuur zijn gebaseerd op de ruwe modeluitvoer en dus niet gecorrigeerd.*

**Literatuur**


Caesar, J., and L. Alexander, 2006: Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set, *J. Geophys. Res.* 111, D05101, doi:10.1029/2005JD006280.

Coles, S., 2001: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values, 208 pp, Springer-Verlag, Berlin, London, Heidelberg.

Dijkstra, H.A., W. Hazeleger, A. Sterl, and G.J. van Oldenborgh, 2007: Gevolgen versterkte broeikaseffect in 2030 overal in Europa merkbaar, *Weer Magazine*, 3, 2007: 26-29.

IPCC, 2007: Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996 pp.

Kharin, V.V., F.W. Zwiers, X. Zhang, and G.C. Hegerl, 2007: Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations, *J. Clim.*, 20, 1419-1444, doi: 10.1175/JCLI4066.1.

KNMI, 2006: KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific report WR 2006-01, http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/-knmi06/achtergrond/WR23mei2006.pdf.

Sterl, A., C. Severijns, H. Dijkstra, W. Hazeleger, G. J. van Oldenborgh, M. van den Broeke, G. Burgers, B. van den Hurk, P. J. van Leeuwen, and P. Van Velthoven, 2008: When can we expect extremely high surface temperatures?, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14703, doi:10.1029/2008GL034071, in press.

Uppala, S., and 44 co-authors, 2005: The ERA-40 reanalysis, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131, 2961-3012, doi: 10.1256/qj.04.176.

Van Ulden, A.P., and G.J. van Oldenborgh, 2006: Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for regional climate scenarios: a case study for West-Central Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 863-881, SRef-ID: 1680-7324/acp/2006-6-863.


# Kan men twee keer in dezelfde rivier stappen?


NANNE WEBER (UU EN KNMI)


**Op 29 februari 2008 sprak ik mijn intreerede uit als bijzonder hoogleraar Klimaatmodellering en Klimaatanalyse aan de Faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. Hier volgt een verkorte en bewerkte weergave van de uitgesproken tekst.**

Als we eens bij zomaar een rivier gaan kijken, dan is er geen enkele reden om aan te nemen dat deze er morgen niet net zo bij zal liggen als vandaag. We vergeten het snel als het gisteren of eergisteren anders was. Gelukkig zijn er mensen die het opschrijven wanneer een rivier overstroomt of droogvalt. Zo weten we wat hetzelfde blijft en wat anders is.

Verandert het klimaat? Om deze vraag te beantwoorden, kijkt men meestal naar de wereldgemiddelde temperatuur. Het is niet zo dat je er in Nederland veel van merkt als het gemiddeld op aarde een beetje warmer of kouder wordt, maar de wereldgemiddelde temperatuur is een goede graadmeter voor de forceringen die op het klimaat inwerken en daarom kijken we ernaar. Pas na 1880 wordt er op zoveel plaatsen op aarde gemeten, dat we een betrouwbaar beeld hebben van het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur. Zo kunnen we vast stellen dat het klimaat niet constant is, maar variabel, en dat het warmer wordt op aarde – vooral sinds 1990.

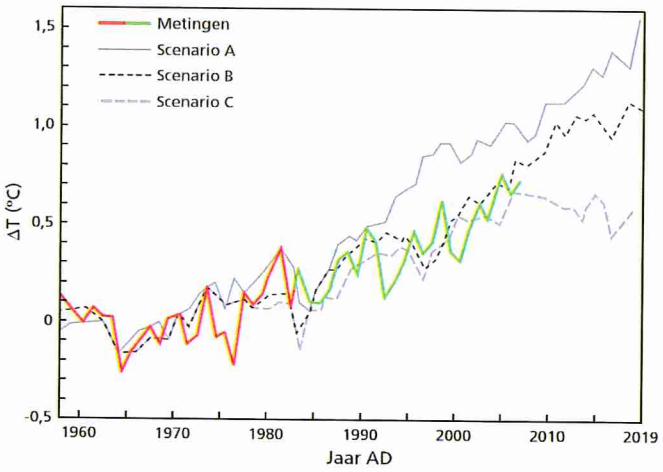
Het is zeer waarschijnlijk dat de recente warme jaren toegeschreven kunnen worden aan de toegenomen concentratie van kooldioxide ($CO_2$) en de andere broeikasgassen methaan en lachgas. Deze gassen komen van nature voor in de atmosfeer en samen met waterdamp zorgen ze ervoor dat de atmosfeer langgolvige straling uitzendt. Hierdoor is het aardoppervlak warmer dan het zonder dit zogenaamde broeikaseffect zou zijn. De toename in $CO_2$ wordt veroorzaakt door de grootschalige verbranding van fossiele brandstoffen door de mens, die is begonnen tijdens de Industriële Revolutie. Ook methaan en lachgas nemen toe door menselijke activiteiten. De toe-

name in deze broeikasgassen zorgt voor wat tegenwoordig het antropogene broeikaseffect genoemd wordt: een versterkte opwarming van het aardoppervlak.

## Het klimaat en de mens

De wetenschappelijke aandacht voor het antropogene broeikaseffect is niet iets van de laatste jaren. De Zweedse onderzoeker Arrhenius was er rond 1900 al mee bezig. Hij rekende als eerste uit wat het effect van een verdubbeling of halvering van de $CO_2$-concentratie op de temperatuur zou zijn en kwam uit op een opwarming of afkoeling van ongeveer 5°C. Hij dacht hierbij in de eerste plaats aan natuurlijke $CO_2$-fluctuaties, die het optreden van oude broeikasklimaten en ijstijden zouden kunnen verklaren, maar hij speculeerde erover of de antropogene $CO_2$-emissies voldoende groot waren om op den duur het klimaat te veranderen. Zo'n dertig jaar later maakte de Brit Callendar de eerste ruwe schattingen van de feitelijke stijging van de $CO_2$-concentratie in de atmosfeer en hij toonde aan dat deze toename in overeenstemming is met schattingen van de productie van $CO_2$ door de verbranding van fossiele brandstoffen.

Sinds 1958 zijn er zeer nauwkeurige en continue metingen van de $CO_2$-concentratie in de vrije atmosfeer en die laten een gestage toename zien. Dit resultaat, en de opkomst van krachtige computers, heeft een enorme impuls gegeven aan het wetenschappelijk onderzoek naar antropogene klimaatveranderingen. Figuur 1 toont een van de eerste berekeningen van het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur onder invloed van de gemeten toename in $CO_2$ en andere broeikasgassen. Het gebruikte model was destijds, begin jaren tachtig, zeer geavanceerd. Het houdt rekening met veel verschillende processen die de stralingsbalans beïnvloeden: de concentratie aan broeikasgassen, maar ook wolkenvorming, neerslag en sneeuw, transport van warmte door luchtstromingen en de interactie met het landoppervlak. Alleen de oceaan wordt nog heel simpel beschreven als een bak stilstaand water. Voor de periode van 1984 tot 2019 gebruiken de auteurs drie verschillende toekomstscenario's. Scenario A gaat uit van exponentiële groei in de forcering, door bijvoorbeeld sterk toenemende emissies van $CO_2$. Scenario B gaat uit van lineaire groei en scenario C tenslotte houdt de forcering constant na het jaar 2000. Ook vulkaanuitbarstingen worden meegenomen in de forcering.




*Figuur 1. Het door een klimaatmodel berekende verloop van de wereldgemiddelde temperatuur volgens de waargenomen forcering voor de periode 1958-1983 en volgens de drie scenario's A, B en C voor de periode 1984-2019. De gemeten temperatuur ten tijde van de berekeningen is aangegeven met een dikke rode lijn. Later zijn de gemeten temperaturen voor de periode 1984-2007 toegevoegd (groene lijn), zie Hansen et al. (PNAS, 2006).*

Het mooie van deze modelvoorspelling is dat wij ondertussen zo'n vijfentwintig jaar verder zijn in de tijd en dat wij de toekomst van toen met het verleden van nu kunnen vergelijken. Het gaat dan vooral om de trend. Het is immers niet te verwachten dat het model van jaar op jaar precies met de metingen in de pas zal lopen, omdat interne processen die klimaatvariaties veroorzaken niet lang vooruit voorspelbaar zijn en de timing van een vulkaaneruptie al helemaal niet vooraf bekend is. Scenario B werd destijds het meest waarschijnlijk geacht en dat is achteraf gezien juist gebleken. De trend in de metingen en het temperatuurverloop volgens scenario B liggen dicht bij elkaar.

Het lijkt dus een uitgemaakte zaak dat de mens een rol speelt in de recente warme jaren. Toch formuleren klimaatonderzoekers dit graag iets voorzichtiger. De reden hiervoor is dat de huidige trend nog niet zo veel groter is dan de variaties. Als het model de trend een klein beetje overschat en tegelijkertijd vooral de langjarige variabiliteit van de temperatuur onderschat, dan komt het verhaal er anders uit te zien. Daarom noemt het IPCC, het klimaatpanel van de Verenigde Naties, het slechts 'zeer waarschijnlijk' dat de recente warme jaren toe te schrijven zijn aan het antropogene broeikaseffect. Over tien of twintig jaar hebben we zekerheid, maar dat duurt nog even.

In de tussentijd kunnen we twee sporen volgen. Enerzijds is het belangrijk om nader te bekijken hoe ongewoon de recente warme jaren zijn. Anderzijds moeten we testen hoe goed onze modellen een klimaatverandering, zoals die voor de komende eeuw verwacht wordt, kunnen voorspellen.

## Recente jaren in het licht van het laatste millennium

Om de eerste vraag te beantwoorden is het nuttig om de instrumentele gegevens uit te breiden naar het verleden met behulp van informatie uit historische bronnen of natuurlijke archieven zoals boomringreeksen, ijskernen of oceaansedimenten. Deze indirect informatie over het klimaat noemen we *proxy*-gegevens. Verschillende onderzoeksgroepen hebben op basis van dergelijke informatie de temperatuurschommelingen van het afgelopen millennium gereconstrueerd. Dan blijkt dat de gemeten temperatuur de laatste jaren zo'n 0.5°C hoger ligt dan gemiddeld tijdens het afgelopen millennium. Dit geldt ook als rekening gehouden wordt met de onzekerheid in de temperatuurreconstructies.

Naast reconstructies van de temperatuur zijn er ook reconstructies van de belangrijkste forceringsfactoren: vulkanische erupties, variaties in zonne-intensiteit, en de menselijke factoren luchtvervuiling, landgebruik en broeikasgasconcentraties. Modelexperimenten hebben laten zien dat vulkanen en de zon, naast interne klimaatprocessen, de pre-industriële temperatuurschommelingen kunnen verklaren. Ook later spelen deze factoren nog een rol, maar in de tweede helft van de 20e eeuw wordt de invloed van de mens steeds belangrijker.

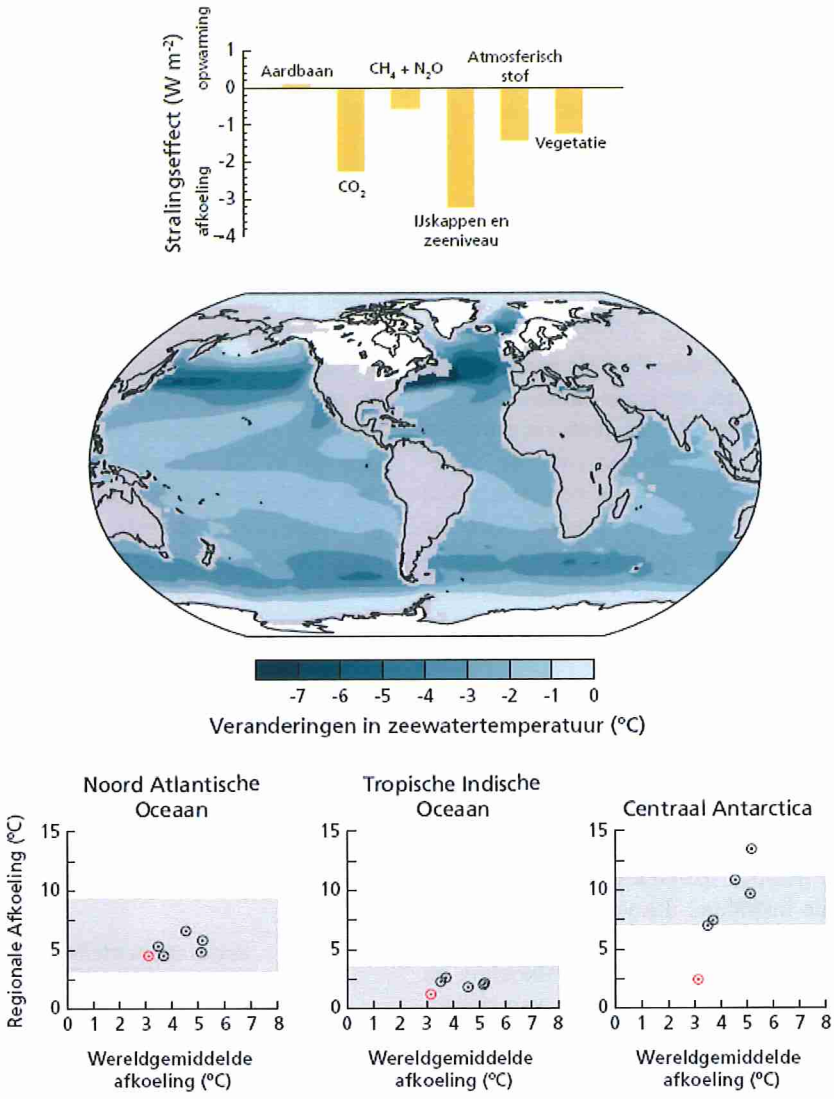
## Het testen van klimaatmodellen

Het tweede punt is: hoe goed zijn de modellen die we gebruiken om naar het toekomstige klimaat te kijken? Een klimaatmodel is een computerprogramma dat de stromingen in de atmosfeer en oceaan berekent uit algemene principes. Dit zijn de behoudswetten van massa en impuls, terwijl de verdeling van de temperatuur volgt uit de warmtevergelijking. Stroming en temperatuur zijn aan elkaar gekoppeld, want de stroming transporteert warmte en door temperatuurverschillen krijg je drukverschillen en dat geeft weer stroming. Het is veel werk om dit allemaal goed uit te rekenen, maar dat gaat wel rechttoe-rechtaan. Wat het hele verhaal ingewikkeld maakt

is dat er onnoemelijk veel kleinschalige processen een rol spelen, zoals wrijving, verdamping en neerslag, chemische processen in de atmosfeer en oceaan, de interactie met het landoppervlak en met vegetatie, de vorming van land- en zeeijs. De beschrijving van deze processen is een mengsel van empirische relaties en fundamentele fysische, chemische en biologische kennis. Deze beschrijvingen zijn uitvoerig getest aan de hand van metingen, maar het is niet van tevoren duidelijk of ze goed zullen werken in een veranderend klimaat. Juist deze kleinschalige processen zijn belangrijk voor de grootschalige circulatie en temperatuurverdeling.

Klimaatmodellen kunnen getest worden door een simulatie te maken van het verleden klimaat en deze modelsimulatie te vergelijken met gereconstrueerde klimaatveranderingen. De aarde heeft al veel verschillende klimaten meegemaakt, zowel extreem warme als koude perioden, langzame en abrupte overgangen en ook cyclische variaties. Lang geleden zijn er extreme broeikasklimaten geweest. De aarde zag er toen wel heel anders uit dan nu: de continenten lagen op andere plaatsen en de huidige gebergten waren er nog niet. Dat maakt het lastig het klimaat van toen te vergelijken met het huidige of toekomstige klimaat. Daarom wordt meestal naar het tijdvak van de afgelopen 2 à 3 miljoen jaar gekeken, waarin de aarde niet meer verandert. Dit tijdvak kenmerkt zich door een afwisseling van koude perioden met grote ijskappen op de continenten, de ijstijden of glacialen, en warme perioden, de interglacialen. Tijdens een glaciaal wordt het gemiddeld zo'n 5 graden kouder op aarde en er treden van tijd tot tijd grote temperatuursprongen op. Tijdens een interglaciaal is het klimaat stabiel. Welk verleden klimaat is nu het meest geschikt om een klimaatmodel mee te testen? We zoeken hiervoor naar een klimaat dat zoveel mogelijk lijkt op ons toekomstklimaat.

Op dit moment leven we in een warme periode, die ongeveer 10.000 jaar geleden begon, het Holoceen. Tijdens het vroege Holoceen en tijdens sommige eerdere interglacialen was het wat warmer dan nu. Dit komt door kleine veranderingen in de baan van de aarde rond de zon en in de stand van de aardas. Hierdoor verandert de verdeling van de hoeveelheid zonnestraling over de aarde en over de seizoenen. De opwarming had niets met $CO_2$- veranderingen te maken. Ook kenden deze klimaten geen snelle




*Figuur 2. Het Laatste Glaciale Maximum. Boven: de forceringsfactoren, omgerekend naar het effect op de stralingsbalans. Dit zijn de instraling (aardbaan), de afname in broeikasgassen, het verhoogde albedo door ijskappen en droogvallend land door een lager zeeniveau, atmosferisch stof en vegetatieveranderingen. Midden: de gereconstrueerde ijskappen en berekende veranderingen in zeewatertemperaturen. Onder: de berekende regionale temperatuurveranderingen afgezet tegen de verandering in wereldgemiddelde temperatuur voor drie gebieden. De grijze balken geven schattingen van de temperatuurveranderingen voor elk gebied op basis van proxy gegevens. Elk bolletje staat voor een klimaatmodel, het rode bolletje is het KNMI model. Figuur uit het vierde IPCC Klimaatrapport.*

opwarmingsperiodes zoals we die in de komende eeuw kunnen verwachten. Het zijn dus maar half goede analogen voor ons toekomstklimaat.

Hoe zit het met de koude periodes? Tijdens een ijstijd is de concentratie aan broeikasgassen sterk verlaagd. Dit komt door natuurlijke terugkoppelingsprocessen in het klimaat. Door de lage broeikasgasconcentraties wordt het nog kouder en de afkoeling tijdens een ijstijd is dus gedeeltelijk terug te voeren op een verzwakt broeikaseffect. Men zou het glaciale klimaat daarom kunnen zien als een soort spiegelbeeld van ons toekomstklimaat. Ook kent het glaciale klimaat snelle overgangen. Maar ja, koud in plaats van warm en we kunnen niet van tevoren aannemen dat het klimaat symmetrisch reageert.

Een tijd lang is het zoeken naar 'analogen' erg in de mode geweest. Men hoopte vooral veel te leren over regionale klimaatveranderingen door bijvoorbeeld naar het vroege Holoceen te kijken. Tegenwoordig is dit idee verlaten. 'Men kan niet twee keer in dezelfde rivier stappen' zei de Griekse filosoof Heraclites al. 'Ander en nog ander water blijft eeuwig stromen, het gaat voorwaarts en weer terug'. Dit lijkt me duidelijk. Het klimaat verandert steeds en hetzelfde klimaat komt nooit terug. Helaas wordt dit door klimaatonderzoekers nogal eens als reden aangevoerd om dan maar helemaal niet naar het verleden te kijken en dat is niet terecht. Hoewel er in het verleden geen analogen zijn, biedt het verleden klimaat wel oefenstof. Begrijpen we waarom het klimaat verandert en welke mechanismen daarbij een rol spelen?

Er zijn twee paleoklimaten die veel gebruikt worden om modellen te testen. Het ene klimaat is een extreem koude periode van 21000 jaar geleden, het Laatste Glaciale Maximum. Het andere klimaat is een warme periode van 6000 jaar geleden, het midden Holoceen. Beide perioden zijn geadopteerd door PMIP, het *Paleoclimate Modelling Intercomparison Project*, een informeel samenwerkingsverband van klimaatonderzoekers die zowel met modellen als vanuit *proxy*-gegevens het verleden klimaat bestuderen. Binnen dit internationale project zijn afspraken gemaakt over de forceringsfactoren voor beide perioden, zodat alle modelleergroepen precies hetzelfde experiment kunnen doen en de resultaten onderling vergelijkbaar zijn. Het klimaat tijdens beide perioden is goed in kaart gebracht door veel verschillende *proxy*-gegevens met elkaar te combineren.

## Het laatste glaciale maximum

Het Laatste Glaciale Maximum is, zoals de naam al zegt, de koudste periode uit het laatste glaciaal. Ook bij het ontstaan van ijstijden spelen kleine veranderingen in de instraling, die veroorzaakt worden door veranderingen in de aardbaan, een rol. Dit leidt eerst tot een afkoeling en vervolgens tot de aangroei van ijskappen en de afname van broeikasgassen. Helaas zijn klimaatmodellen nog niet in staat al deze samenhangende processen tegelijkertijd te simuleren. Daarom wordt de oefening een beetje vereenvoudigd: we bieden het model glaciale instraling, broeikasgasconcentraties en ijskappen aan en berekenen hoe atmosfeer en oceaan daarop reageren. Deze forceringsfactoren zijn samengevat in figuur 2. De figuur geeft ook de ijskappen, zoals die uit geologische gegevens gereconstrueerd zijn, en de berekende verandering in zeewatertemperaturen. De temperatuur neemt overal af, echter met grote regionale verschillen. Onderaan in de figuur staat het belangrijkste plaatje. De door elk van de zes PMIP modellen berekende regionale temperatuurverandering wordt hier vergeleken met de werkelijke afkoeling, zoals die geschat is uit *proxy*-gegevens. In het zuidpoolgebied zijn de door de modellen berekende temperatuurveranderingen of te hoog of te laag. Voor de andere twee gebieden gaat het verrassend goed.

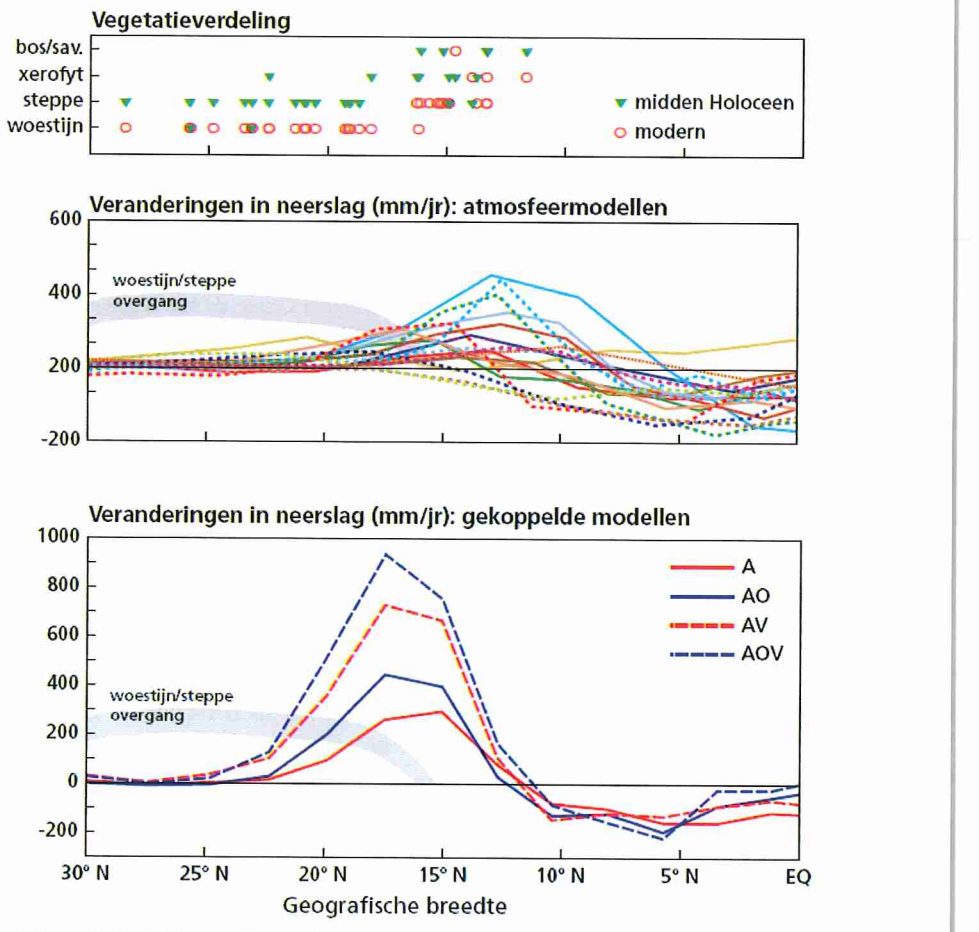
Wanneer we meer in detail naar het ruimtelijk patroon van temperatuurveranderingen boven bijvoorbeeld de Atlantische Oceaan zouden kijken, dan zijn er grote verschillen tussen de modellen onderling en tussen de modellen en de *proxy*-gegevens. Dit ruimtelijk patroon wordt bepaald door verschillende processen: de aanvoer van koude lucht vanaf het Amerikaanse continent, de zee-ijs bedekking, warmteuitwisseling tussen de lucht en het zeewater en de circulatie in de Atlantische Oceaan. Modellen zijn nog niet in staat om de goede balans tussen al deze processen te vinden. Ook voor de Golfstroom en de diepe oceaancirculatie zijn er grote verschillen tussen de modellen onderling. Slechts enkele modellen reproduceren de glaciale circulatie die zwakker geweest moet zijn dan haar moderne tegenhanger. Veel modellen laten juist versterkte zeestromingen zien. Ook hier volgt het signaal uit een subtiele balans tussen diverse factoren en verschillende modellen komen tot verschillende verklaringen. Het is dus niet duidelijk wat de oorzaak van de verzwakte circulatie is.

We kunnen vaststellen dat modellen de grootschalige temperatuurrespons over het algemeen goed weergeven, maar dat ze moeite hebben met het simuleren van signalen waarbij veel verschillende processen op elkaar inwerken zoals bij veranderingen in het regionale klimaat of in de oceaanstromingen.

## Het midden Holoceen

Een meer recente periode, het midden Holoceen, kende warme zomers en een intense moessoncirculatie op het noordelijk halfrond. Het mechanisme hierachter is simpel. De moessoncirculatie wordt aangedreven door het land-zee temperatuurcontrast. Het land is in de zomer altijd warmer dan de zee, omdat de seizoenscyclus in zeewatertemperaturen een paar maanden achter loopt op die in de landtemperaturen. Als de zomers dus relatief warm zijn, wordt het land-zee temperatuurcontrast groter en daarmee versterkt de moessoncirculatie en de daarbij behorende neerslag.

Tegenwoordig vinden we in Noord-Afrika overwegend woestijn. Alleen in de tropen is er vegetatie in de vorm van steppe, savanne en bos. In het midden Holoceen was er sprake van een noordwaartse verplaatsing en uitbreiding van de vegetatiezones (figuur 3). Opvallend is vooral dat er steppe was waar nu woes-




*Figuur 3. Het midden Holoceen. Boven: de verdeling van vegetatietypes voor Noord-Afrika (20 °W tot 30 °E) voor het midden Holoceen en nu. Midden: de berekende veranderingen in neerslag voor hetzelfde gebied, ook is aangegeven hoeveel extra neerslag er nodig is om steppe te laten ontstaan in woestijngebieden. Onder: de resultaten voor verschillende modelconfiguraties: alleen een atmosfeer (A), een atmosfeer gekoppeld met een oceaan (AO) of met vegetatie (AV), of een volledig atmosfeer-oceaan-vegetatie model (AOV). Figuur uit het derde IPCC Klimaatrapport.*

tijn is: de 'groene Sahara'. Figuur 3 geeft ook het gesimuleerde verschil in neerslag tussen het midden Holoceen en nu voor een groot aantal atmosfeermodellen. De modellen laten een toename zien, vooral in de tropen, in overeenstemming met de gereconstrueerde toename in vochtminnende vegetatie. Echter ten noorden van 20°NB laten de modellen nauwelijks een verandering zien, terwijl geschat wordt dat er zo'n 200 tot 300 mm per jaar extra neerslag nodig is om een steppevegetatie te laten ontstaan in woestijngebieden. De noordwaartse uitbreiding van de vegetatiezones wordt hier duidelijk onderschat. Het onderste plaatje geeft weer wat er gebeurt als de simulaties worden uitgevoerd met een atmosfeermodel gekoppeld aan een vegetatiemodel of een oceaanmodel, of aan beide. Dit geeft een duidelijke versterking van het signaal. Dit komt door de recycling van vocht door de vegetatie en een betere beschrijving van het land-zee temperatuurcontrast door een actieve oceaan. Toch kunnen ook deze gekoppelde modellen de groene Sahara niet verklaren.
Ook boven Europa vinden we een ander neerslagpatroon in het midden Holoceen. Het zuidoosten is natter en het noordwesten is droger dan nu. Sommige modellen reproduceren dit patroon, doordat hogere zeewatertemperaturen in de Middellandse Zee leiden tot nattere winters. Andere modellen laten een bijna tegenovergesteld patroon zien. We kunnen dus niet zeker zijn van het mechanisme.
Samenvattend: ook voor het midden Holoceen blijkt dat het dominante klimaatsignaal, een sterkere moesson, goed weergegeven wordt. De modellen doen het nog beter als vegetatie en een actieve oceaan meegenomen worden. Als we echter inzoomen op ruimtelijke details, zoals de noordwaartse uitbreiding van de moesson of de neerslag boven Europa, dan doen de modellen het niet zo goed en schiet onze kennis te kort.

## Toekomstig onderzoek

Het zal duidelijk zijn dat er nog veel open vragen liggen als we naar het verleden klimaat kijken. Tegelijkertijd is het zo dat klimaatvoorspellingen voor de nabije toekomst niet geloofwaardig zijn zonder de toets van het verleden klimaat. Dat wil niet zeggen dat deze toets eenvoudig is, want een goede analoog is er niet en *proxy*-gegevens zijn vaak multi-interpretabel en kennen grote onzekerheidsmarges. Voor de twee voorbeelden in dit artikel is binnen PMIP veel discussie nodig geweest, want het is niet triviaal om verschillende disciplines bij elkaar te brengen. Toch heeft deze oefening een duidelijk beeld opgeleverd van wat wij begrijpen van het klimaat en waar de hiaten liggen. De hiaten bieden uiteraard kansen voor toekomstig onderzoek, zeker als uiteenlopende expertises (modelmatig en empirisch onderzoek) samengebracht worden. Dit is een uitdaging waar ik de komende jaren aan wil gaan werken.

## Tenslotte

Tenslotte nog een citaat van Heraclites. Dit keer zegt hij 'in dezelfde rivier stapt men en stapt men niet. We zijn en zijn niet'. De aandacht is nu verschoven van de rivier naar de mens. Ook de mens blijft niet hetzelfde, maar verandert steeds, en alleen al daarom is ons toekomstige klimaat uniek en zonder analoog in het verleden.

*De volledige tekst van deze intreerede is te vinden op www.knmi.nl/~weber*

**Literatuur**

*Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.L. Lea en M. Medina-Elizade, 2006: Global temperature change, PNAS, 103, 14288-14293.*

# De invloed van hoogte en landgebruik op het neerslagmaximum op de Veluwe

HERBERT TER MAAT[1], EDDY MOORS[1], RONALD HUTJES[1], RUUD JANSSEN[1] EN HAN DOLMAN[2]
([1] ALTERRA – WUR; [2] VRIJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM)

**De wisselwerking tussen landgebruik, landbedekking en het klimaat zijn al jaren onderwerp van onderzoek. Vaak wordt er gekeken naar het gevolg van landgebruiksverandering op neerslag onder afwisselende atmosferische omstandigheden in verschillende delen van de wereld. Het basismechanisme dat hierbij een rol speelt is dat door een landgebruiksverandering de vegetatie verandert en daarmee veranderen ondermeer de ruwheidslengte en de albedo. Hierdoor verandert tevens de stralingsbalans en ook de verdeling van de fluxen van latente en sensibele warmte. Veranderingen in de oppervlaktefluxen van energie, vocht en impuls zullen leiden tot een veranderend vocht- en warmtetotaal binnen de grenslaag. Op hun beurt zal dit weer invloed hebben op de convectieve opwarming, diabatische opwarming, subsidentie en vochtconvergentie in de grenslaag. De terugkoppelingen op de regionale schaal (~100 km) tussen het landoppervlak en de topografie enerzijds en de atmosfeer anderzijds zullen direct aangrijpen op processen in de atmosfeer die de mesoschaal circulaties aandrijven. In dit artikel gaan we in op de mogelijke gevolgen van een verandering in landgebruik op de land-atmosfeer interacties (verdamping, neerslag) voor een relatief klein gebied namelijk de Veluwe. Deze interacties zullen met behulp van een regionaal atmosfeermodel en een gedetailleerd landoppervlaktemodel worden bestudeerd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van verschillende scenario's waarin het landgebruik en de topografie de variërende variabelen zijn. Op basis van deze resultaten kan concluderend wat gezegd worden over het effect van landgebruiksverandering in, bijvoorbeeld, het Rijnstroomgebied dat loopt via Duitsland van Zwitserland naar Nederland.**

## Landgebruik

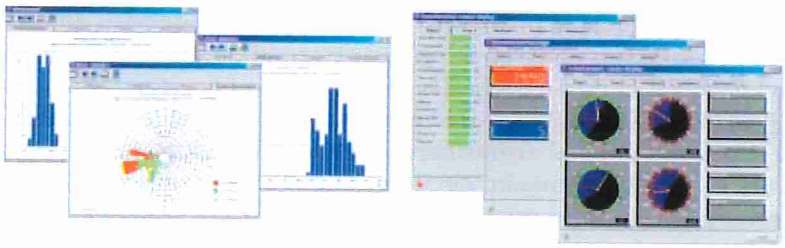
Landgebruikscenario's van het EU-Ruralis project (Verburg et al. 2006) laten een verandering in landgebruik zien als gevolg van de toetreding van Oost-Europese landen tot de Europese Unie. In het westen van Europa is als gevolg van die toetreding een toename te verwachten van stedelijk en bebost gebied ten koste van het landbouwareaal in de komende tientallen jaren. Deze verandering in landgebruik zal van invloed zijn op het

Bakker&Co

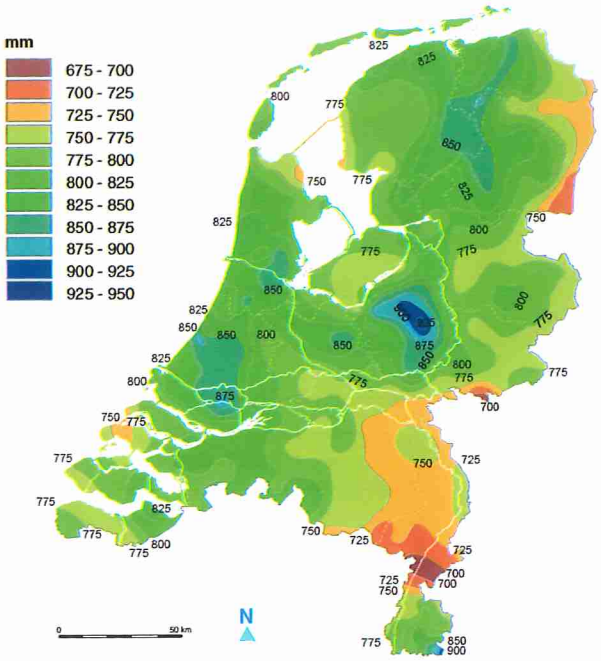
## *Uw partner in Meteo en Klimaat!*

Handels- en Ingenieursbureau Bakker & Co levert een scala aan meetoplossingen en meetinstrumenten op het gebied van meteorologie en klimatologie. Van instrumenten, sensoren tot complete weerstations inclusief data acquisitie en software voor toepassingen in de industrie, offshore en gebouwautomatisering.

Meteorologische sensoren
- ✓ Windrichting / windsnelheid
- ✓ Temperatuur
- ✓ Luchtvochtigheid
- ✓ Atmosferische druk
- ✓ Zon intensiteit
- ✓ Neerslag



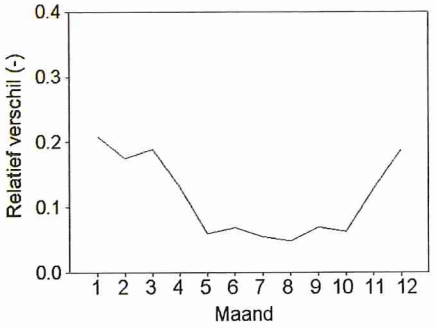
Handels- en Ingenieursbureau Bakker & Co., Industrieterrein "de Geer", Gildenweg 3
Postbus 1235, 3330 CE Zwijndrecht.
Tel. 078-610 16 66, Fax. 078-610 04 62
E-mail meettechniek@bakker-co.com
www.bakker-co.com




*Figuur 1. Jaarlijkse gemiddelde neerslagsom (mm) voor Nederland (1971-2000), (Heijboer and Nellestijn 2002)*

afvoerregime van de grote rivieren in de Nederlandse rivierdelta. Dit effect komt naast de gevolgen die mogelijk te verwachten zijn als gevolg van klimaatveranderingen. Door de toename van de temperatuur zal er in de Alpen minder neerslag in de vorm van sneeuw vallen en zal het smelten van sneeuw daar ook vroeger optreden. Dit zal, in het geval van de Rijn, zowel het hoogwater in de winter als het laagwater in de zomer beïnvloeden.

De Veluwe (totale oppervlakte: 625 km$^2$) bestaat voornamelijk uit bos en ligt voor het grootste deel enkele tientallen meters hoger dan het omliggende terrein. Tijdens de laatste ijstijd werd dit gebied bedekt met dekzand. In het begin van de twintigste eeuw werd besloten om het gebied te bebossen om de winderosie en daarmee de sedimentatie van zand die de omliggende landbouwgebieden bedreigde, te reduceren. De Veluwe kent een gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid die 75 tot 100 mm hoger ligt dan andere delen van Nederland, een verschil van ongeveer 10-15 % (figuur 1). Deze verhouding verschilt door het jaar heen zoals is weergegeven figuur 2 met het grootste relatieve verschil in de wintermaanden. Deze analyse is uitgevoerd op stations op en rond de Veluwe. De stations met hun locatie staan afgebeeld in figuur 3. Tot nu toe is verondersteld dat dit maximum het gevolg is van de verhoogde ligging van de Veluwe. Het zal echter blijken dat het bos een niet te verwaarlozen rol speelt in het neerslagmaximum op de Veluwe.

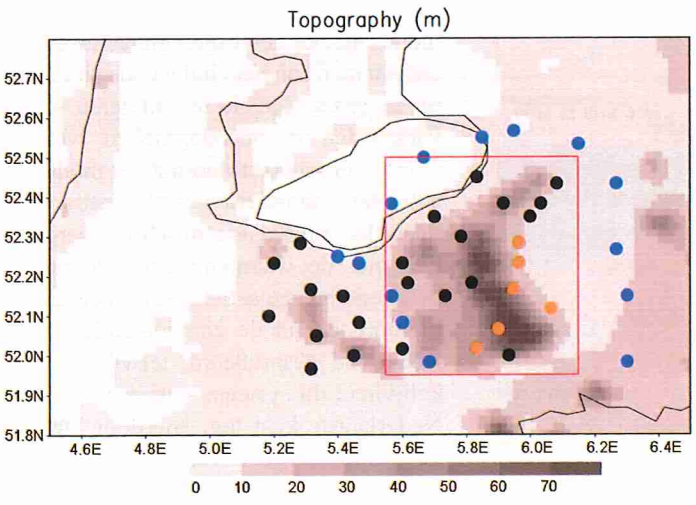



*Figuur 2. Verloop van het relatieve verschil tussen neerslagstations op de Veluwe en neerslagstations rond de Veluwe.*

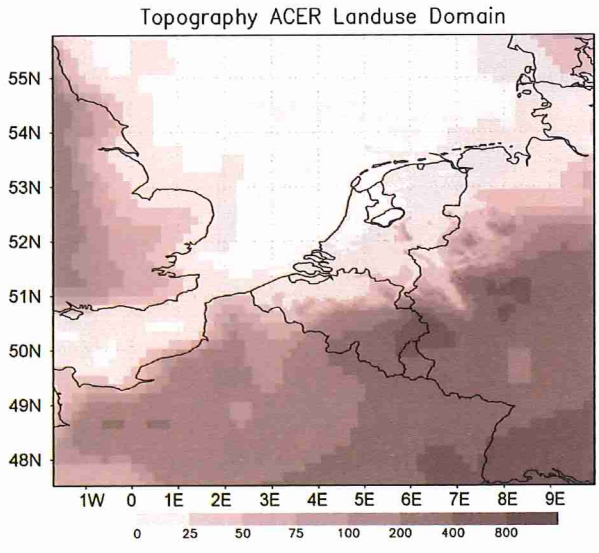
## Modellen

Om het effect van het bos aan te tonen wordt gebruik gemaakt van het mesoschaalmodel RAMS (Cotton et al. 2003) met het in eigen beheer ontwikkelde landoppervlakteschema SWAPS-C (Ashby et al., 1996, Hanan et al., 1998). Dit gecombineerde model is in een geneste roosteropzet gedraaid waarbij de resolutie toenam van 18 km$^2$ (rooster 1), via 8 km$^2$ (rooster 2) tot een maximale resolutie van 2 km$^2$ (rooster 3). Het domein van het model (rooster 1) is weergegeven in figuur 4. SWAPS-C simuleert de fluxen van water, energie en koolstof tussen het landoppervlak (bodem en vegetatie) en de atmosfeer. Het model kan met verschillende gewasconfiguraties overweg. De kracht van SWAPS-C is dat de berekeningen van de bovengrondse en ondergrondse processen in gelijke mate van fysische gedetailleerdheid worden beschreven. De verschillende scenario's die worden gebruikt in deze studie zijn geïdealiseerd maar zijn zo ontworpen dat de mogelijke redenen van het neerslagmaximum kunnen worden ontrafeld. Omdat we scenario's gebruiken die nooit in het verleden hebben plaatsgevonden, kunnen de uitkomsten van de scenario-simulaties niet worden gevalideerd met waarnemingen. De controle-simulatie, met huidige vegetatie en correcte topografie, is wel gevalideerd met bestaande observaties. Hierbij ligt de nadruk op de neerslag. Naast de al eerder genoemde controle-simulatie ligt de nadruk in deze studie vooral op de resultaten van de scenario-simulaties. Verschillende scenario's zijn hierbij gebruikt, zie tabel 1 en figuur 5:

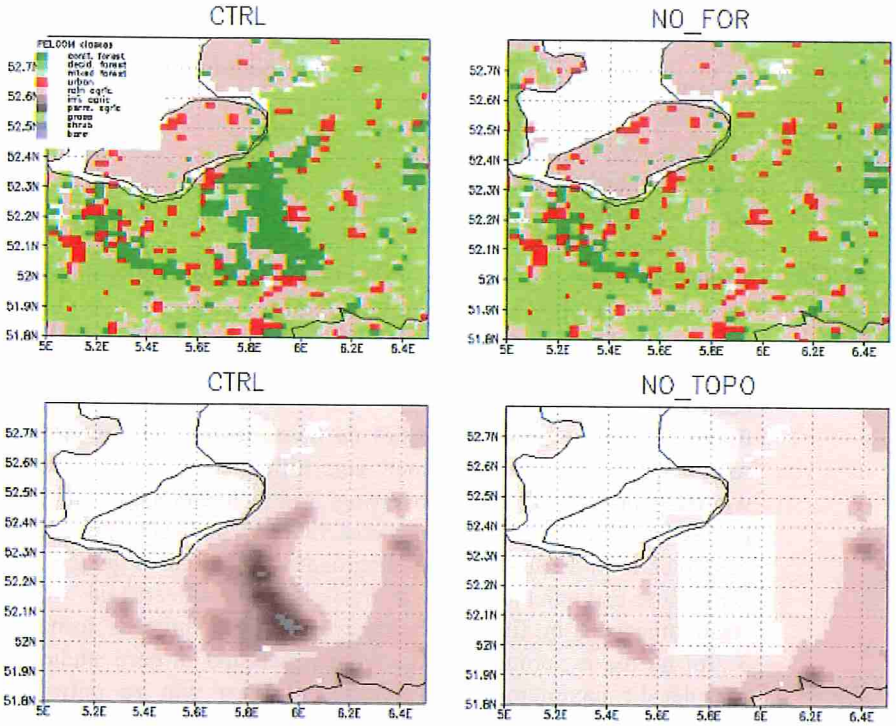
- NoForest (NF) scenario: bos (donkergroen) wordt in dit scenario op de Veluwe vervangen door grasland (lichtgroen). Hierdoor verandert de aerodynamische ruwheid van 0.9 meter naar 0.02 meter en de albedo van 0.10 naar 0.20.




*Figuur 3. Ligging van neerslagstations op en rond de Veluwe, met de hoogtekaart van Midden-Nederland als achtergrond. Blauw: stations rond de Veluwe gebruikt in de analyse, oranje: stations op de Veluwe gebruikt in de analyse, zwart: niet gebruikte stations.*



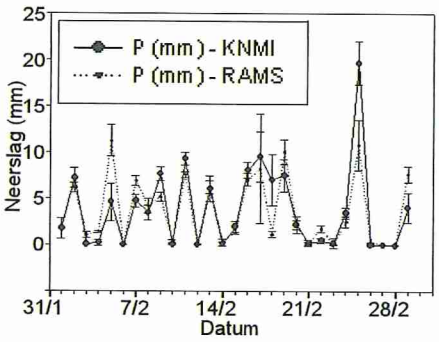

*Figuur 4. Hoogtekaartje (in meters) van domein 1 dat gebruikt wordt in de simulaties.*




*Figuur 5. Kaartjes van de verschillende scenario's. Linksboven: huidig landgebruik, linksonder: huidige hoogtekaart, rechtsboven: landgebruikscenario, gebruikt in het NF- en NTF-scenario, linksonder: hoogtekaartje, gebruikt in NT- en NTF-scenario. Donkergroen: bos, lichtgroen: grasland, lichtbruin: landbouwgebied, rood: stedelijk gebied.*

| Simulatie | Landgebruik | Hoogte |
|---|---|---|
| CTRL | Actual | Actual |
| NF | NoForest | Actual |
| NT | Actual | NoTopo |
| NFT | NoForest | NoTopo |

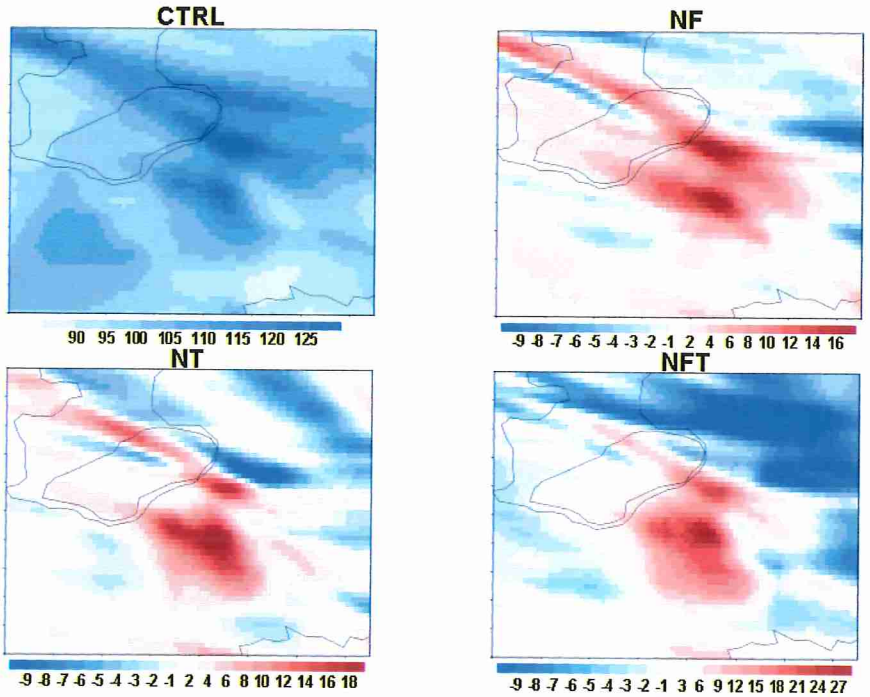
*Tabel 1. De gebruikte simulaties met de verschillende gebruikte landgebruiks- en/of hoogtescenario's, zie ook figuur 5.*




*Figuur 6. gemeten en gesimuleerde dagelijkse neerslag (mm) in de wintersimulatie, gemiddeld over een vierkant om de Veluwe heen.*

- NoTopo (NT) scenario: de topografie wordt voor de hele Veluwe teruggebracht naar zeeniveau. Dit leidt tot een daling in de hoogte variërend van 1 tot 100 meter.
- NoTopoForest (NTF): dit is een combinatie van beide scenario's resulterend in een verlaagde en ontboste Veluwe.

Figuur 2 liet al zien dat de verhouding in neerslag tussen stations op en om de Veluwe verschilt per jaargetijde. Hierdoor is gekozen om RAMS te draaien voor één maand in de zomer (9 mei – 7 juni 2005) en één maand in de winter (1-29 februari 2000). Voor beide maanden is RAMS ook met alle scenario's gedraaid. De synoptische omstandigheden tussen de maanden verschillen zo dat de neerslag in de winter als frontale neerslag valt en in de zomer als convectieve neerslag.




*Figuur 7a. Vieroogjes van de simulaties van de neerslag voor de wintersituatie. Linksboven: gesimuleerde maandsom (mm) in de controle-simulatie, rechtsboven: verschil in maandsom (mm) tussen de controle - en de NF-simulatie, linksonder: verschil in maandsom (mm) tussen de controle en de NT-simulatie, rechtsonder: verschil in maandsom (mm) tussen de controle en de NTF-simulatie. Bij een positief verschil (rood) is er minder regen dan in de controlesimulatie.*

## Controlesimulatie

De resultaten van de controlesimulatie van de wintermaand laten zien (figuur 6) dat RAMS de maandelijkse neerslagsom voor de Veluwe goed simuleert. Het model berekent een totale neerslagsom van 105 mm. De gemiddelde gemeten neerslagsom voor de stations op de Veluwe is voor de gekozen periode 110 mm. De dagelijkse neerslagsommen laten ook een verloop zien dat redelijk gelijk loopt met de waarnemingen. De waargenomen pieken in neerslag worden redelijk gesimuleerd door het model behalve op 5 februari (overschatting van 6.5 mm) en op 25 februari (onderschatting van 9 mm). De validatie van de zomerneerslag (hier niet getoond) laat zien dat het model moeite heeft om convectieve buiensystemen aan het eind van de simulatie op de exacte locatie te simuleren. Deze verschillen in neerslagpieken worden vooral veroorzaakt doordat het model de gebieden van intense neerslag net enkele tientallen kilometers opschuift vergeleken met de waarnemingen. De buien, behorend bij een actief weersysteem, zijn bijvoorbeeld in de zomersituatie boven Nederland gesimuleerd, terwijl in werkelijkheid dit systeem stationair voor de Nederlandse kust lag. Hierdoor kunnen de gesimuleerde neerslagsommen door een kleine afwijking al snel verschillen van de werkelijkheid.

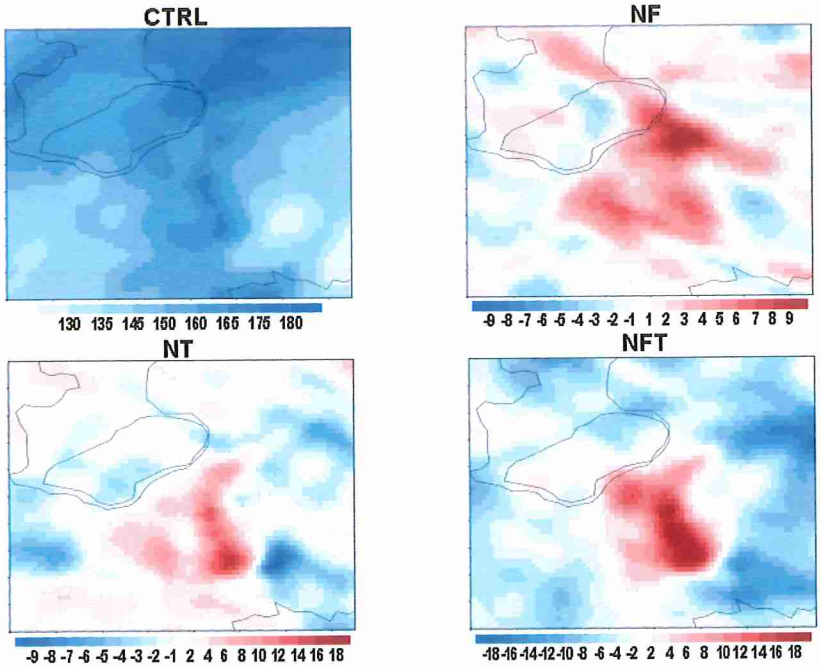
## Scenariosimulaties

De scenario-simulaties zoals die in tabel 1

zijn gegeven gebruiken allemaal dezelfde begin- en randvoorwaarden. Figuur 7 laat de verschillen zien in de geaccumuleerde neerslag aan het eind van de simulaties tussen de verschillende scenario's en de controlesimulatie voor respectievelijk de winter- en zomersimulaties. Voor beide simulaties geldt dat de drie scenario's (NF, NT en NFT) in de omgeving van de Veluwe altijd minder regen genereren. Dit laat zien dat de topografie en het landgebruik allebei invloed hebben op de regenval op de Veluwe. De afname in neerslag voor de Veluwe voor de NT- en NF scenario's is nagenoeg gelijk en bevat ongeveer 10 % van de totale hoeveelheid neerslag gesimuleerd in de controle-simulatie.

Het verschilplaatje van het NT-scenario laat zien dat het verschil in neerslag vooral beperkt is tot het gebied waar de verandering van topografie is doorgevoerd. Dit geldt in sterke mate voor de zomersituatie. Het patroon in de verschilplaatjes van het NF-scenario is wat diffuser in de zomer. De wintersituatie laat een ander beeld zien, dat vooral beïnvloed wordt door een dominante regensituatie die uit noordwestelijke richting wordt aangevoerd en waar de verschillen tussen de controlesimulatie en het NF-scenario sterk in naar voren komen. Voor het NT-scenario komt het verschil in neerslag tussen de controlesimulatie en het NT-scenario meer geleidelijk in de simulatie tot stand.

De verschillende stralingscomponenten laten ook verschillen zien tussen de scenario's. In de zomersituatie zijn de verschillen tussen de scenario's zichtbaar in nettostraling, en in het bijzonder de inkomende hoeveelheid kortgolvige straling (zie figuur 8). In het NF-scenario komt dit boven de Veluwe tot uiting in een verschil dat ligt tussen 15 en 20 W $m^{-2}$, als gevolg van een verhoogde instraling door een afname in wolken in het NF-scenario. Figuur 8 laat tevens zien dat de verschillen in fluxen vooral in de scenario's voorkomen waar het bos op de Veluwe is verwijderd. De wintersituatie is wat minder uitgesproken al is nog steeds te zien in het ruimtelijke beeld dat de verandering in de nettostraling in het NF-scenario het grootste is. Het verschil in neerslag tussen de scenario's in de wintersituatie is derhalve niet alleen het gevolg van een lokaal verschil in de verdeling van oppervlaktefluxen. Dit lijkt meer het gevolg te zijn van een veranderend windveld rond frontale passages als gevolg van een verschil in ruwheidsveld op de Veluwe tussen het NF-scenario en de controlesimulatie.




*Figuur 7b. Als figuur 7a maar voor de zomersituatie.*

## Conclusie

Concluderend kunnen we stellen dat het effect van landgebruik op het neerslagmaximum boven de Veluwe van dezelfde orde van grootte is als het effect van de hogere ligging van de Veluwe. Dit betekent dat bij het ontwerpen van adaptatiemaatregelen in het Rijnstroomgebied terdege rekening moet worden gehouden met de te verwachten veranderingen in landgebruik in het gehele stroomgebied en de effecten daarvan op de neerslaghoeveelheid en ruimtelijke verdeling daarvan.

*Deze resultaten komen voort uit het project ACER, gefinancierd door het Klimaat Voor Ruimte-programma.*

**Literatuur**

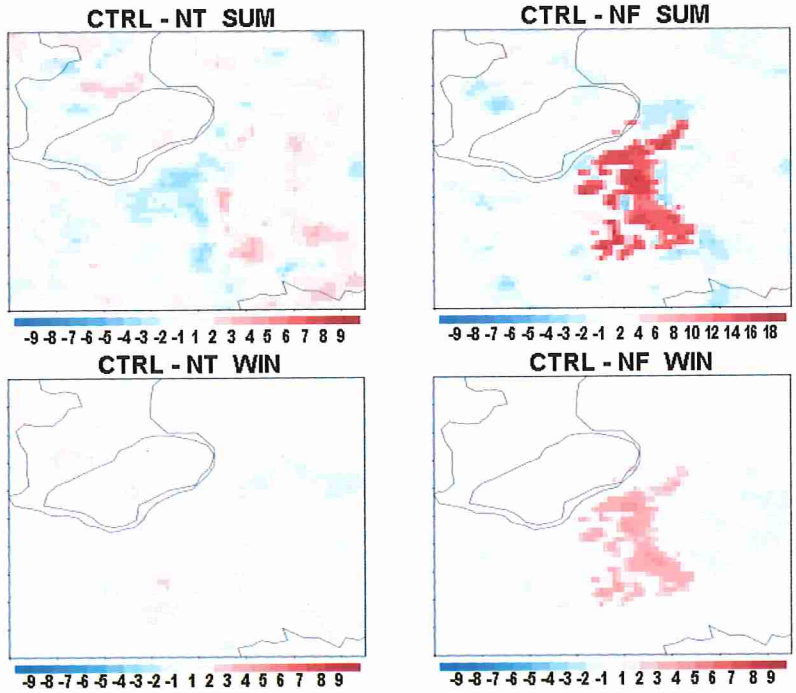
Ashby, M., A. J. Dolman and P. Kabat, 1996:. SWAPS version 1.0 : technical reference manual. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Cotton, W. R., R. A. Pielke, R. L. Walko, G. E. Liston, C. J. Tremback, H. Jiang, R. L. McAnelly, J. Y. Harrington, M. E. Nicholls, G. G. Carrio and J. P. McFadden, 2003: RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics* 82(1-4): 5-29.

Hanan, N. P., P. Kabat, A. J. Dolman and J. A. Elbers, 1998: Photosynthesis and carbon balance of a Sahelian fallow savanna. *Global change biology* 4(5): 523-538.

Heijboer, D. and J. Nellestijn, 2002: Klimaatatlas van Nederland : de normaalperiode 1971-2000. Rijswijk, Elmar.

Verburg, P. H., A. Veldkamp and M. D. A. Rounsevell, 2006: Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment* 114(1): 1-6.

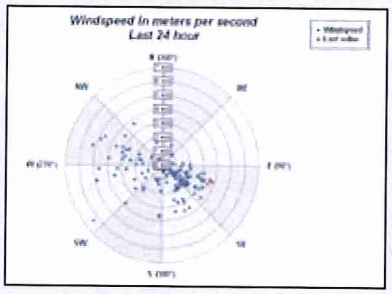



*Figuur 8. Verschilplaatjes in nettostraling (W $m^{-2}$), gemiddeld over de hele simulatietijd, voor de zomersituatie (boven) en de wintersituatie (onder). De linkerplaatjes laten het verschil zien tussen de controlerun en het NT-scenario en de rechterplaatjes het verschil tussen de controlerun en het NF-scenario.*

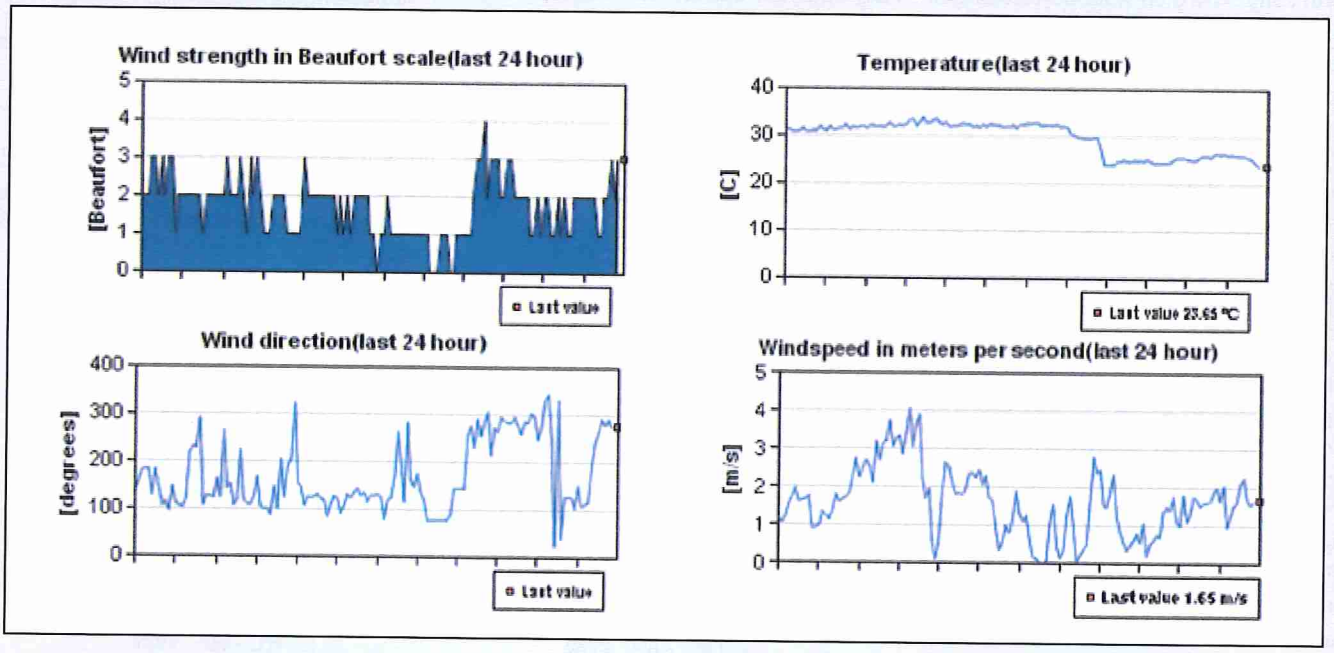
# WEER & WIND - METINGEN

# via INTERNET !

Met het nieuwe iBOX systeem van EKOPOWER:
direkt van sensoren naar internet, geen (upload) pc nodig!
Ideaal voor oa: weeramateurs, zeilers, surfers, kite surfing en professionele gebruikers.




Via Ethernet connector met Internet verbonden, of via draadloze GPRS verbinding.
Grafieken direct afleesbaar via de website:




zie demo op: www.ekopower.net of op www.ekopower.nl voor weerstations, bliksemdetektors (via internet), dataloggers, sensoren etc. Ook maatwerk mogelijk.

EKOPOWER : ruim 20 jaar specialist in weerstations!
Tel 040-2814458.

# Kwik I

HUUG VAN DEN DOOL

Aan de muur in mijn studeervertrek in de VS hangt de barometer van 'opa', mijn in 1953 overleden grootvader (André Aengenent) die mij tot de meteorologie heeft aangezet. Het apparaat wijst naar de eerste r in "veranderlijk", over leven met onzekerheid gesproken. Ik tik eens bemoedigend op mijn oude vriend, een doosdrukmeter. De wijzer springt van 760 naar 759 (een app'eetje); dat zijn eigenaardig genoeg dus eenheden "millimeters kwik". De barometer is misschien al 75 of 100 jaar oud, heeft in Delft, Bodegraven en Waddinxveen gehangen, is onnoemelijk vaak beklopt en afgelezen, en is langs de nodale lijn van de NAO over een oceaan vervoerd, maar doet zijn werk nog prima.

Dit is een kolom over een kolom lucht. Wij leven onderin de laatstbedoelde kolom en willen als meteoroloog, of als opa, wel eens weten hoe groot de luchtdruk is. Druk is van huisuit kracht per vierkante meter, uit te drukken in moderne eenheden als 'zoveel' Newton per vierkante meter, ook Pascal genoemd. De verkoop is nu verboden maar de kwikbarometer is een fantastische uitvinding die ZEER lang verreweg de nauwkeurigste metingen heette te verrichten; dit apparaat heeft daardoor een onuitwisbare invloed op de manier waarop we druk meten, corrigeren en van eenheden voorzien. Vooral dat laatste. Want wat mat Torricelli nu eigenlijk??? Hij stelde ingenieus vast dat een kolom kwik van ongeveer 760 mm in balans is met de kolom lucht die zich (tot één) bar hoog uitstrekt. Een weegschaal, zeg maar, met geijkte contragewichten, zoals men vroeger wel appelen verkocht. Gewicht is een kracht, dat wil zeggen massa (kilogram) maal versnelling van de zwaartekracht (g in meter per seconde kwadraat). Veronderstelt men dat dezelfde g de korte kwik- en de lange luchtkolom aangrijpt (wat trouwens niet helemaal waar is voor zover g van de hoogte afhangt), dan wordt g er in feite uit gedeeld (zodat we tot ons kortstondig geluk niet eens hoeven te weten wat de waarde van g is!!) We meten dus de massa van de luchtkolom door het gelijk te stellen aan de (bekende) massa kwik. De kwikbarometer is geen drukmeter, dat zal nieuws zijn voor velen. Het is een massameter, wel geïnterpreteerd als drukmeter en dan ook nog eens afgelezen als de hoogte van een kwikkolom met de lengtemaat mm. Typisch meteorologie. Dat moet tot verwarring leiden, (mogelijk ook bij de auteur). Reken maar.

Om van hoogte van een kwikkolom naar druk te gaan moeten we vermenigvuldigen met a) het soortelijk gewicht van kwik (dat is niet zo'n probleem) en b) met g, en nu moeten we ineens wel weten wat g is. Dit is een ramp want g is niet overal hetzelfde. Meteorologen hebben nooit begrepen wat daar nu mee te doen. Terwijl geofysici in 1930 een nette formule bedachten (die begrijpelijk afhangt van de rotatie en vorm van de aarde e.d.) die g als functie van de breedte voorstelt hebben meteorologen (de WMO zeg maar) enkele oudere uitdrukkingen in stand gehouden maar wel de coëfficiënten meermalen numeriek aangepast. Als dat geen global change veroorzaakt in een Reanalysis weet ik het niet meer!

Helaas staat de meteorologie bol van de trucjes en foefjes die zich vroeg of laat tegen je keren, vooral als er niemand meer leeft om uit te leggen waarom we dat destijds deden (en uit gewoonte soms nog doen). Zoals de virtuele temperatuur is bedacht zodat we altijd met de gasconstante R van droge lucht kunnen werken (een handigheidje, maar ook een ramp die niet te overzien is), meende men vroeger dat het praktisch was de aflezing van de kwikbarometer in mm te blijven rapporteren maar wel op te vatten als druk. Het belang van de druk in de synoptische meteorologie is, Buys Ballot indachtig, met name om de horizontale drukgradiënt te bepalen, dat wil zeggen men moet kwikkolomlengtemetingen op verschillende plaatsen met elkaar kunnen vergelijken als ware het geen massa maar druk. Uit Tabel IIIa in Bleeker's deel II van zijn fameuze Leerboek der Meteorologie uit 1942 (ook dat heb ik uiteraard langs de nodale lijn der NAO over de oceaan meegenomen) blijkt dat men hiertoe bij de aflezing van de lengte van de kwikkolom op 50°N een halve mm moest optellen (bij lage druk wat minder). Deze zogenaamde breedtecorrectie voor de lengte van de kwikkolom is een simpele vorm van een g-correctie zodat we vervolgens met een vaste referentiewaarde van $g_0$=9.806 m/s$^2$ (overal op aarde hetzelfde) kunnen werken. Het gemak dient de mens, tenzij je de details vergeet, dan breekt het gemak je zuur op.

En dat de correctie zo klein is (een halve mm) komt omdat Nederland niet zo ver van 45°N ligt; aan de pool en de equator is de correctie soms meer dan + (pool) en – (equator) 2mm. Bij 45°N en Z ligt het scharnierpunt van deze breedtecorrectie, of eigenlijk moet ik "lag het scharnierpunt" zeggen want bij een onfortuinlijke aanpassing van de gebezigde uitdrukkingen in 1966 is dat punt door de WMO verschoven en daarmee is ook de referentiewaarde $g_0$ veranderd. Ik zal maar niet beginnen over het feit dat de zwaartekracht ook van de geografische lengte afhangt; daar weet ik meer van (tot 10 tot de macht min 10 toe) dan goed voor me is.

De lengtemaat kwik (cm, mm, inches) is geheel ten onrechte razend populair geworden. In de aartsconservatieve VS hoor ik in 2008 dagelijks tv-meteorologen over 30 punt zoveel inches (mercury, "and rising") kletsen. Hoogstwaarschijnlijk hebben ze niet eens een kwikbarometer. Dat mijn opa's doosbarometer in mm kwik werd afgelezen bewijst hoe populair en dwingend de mm kwik als eenheid in opa's vitale jaren wel was. En het slaat nergens op. Een aneroïde doos meet de echte druk en die hoeft niet uitgedrukt te worden in de eenheid die voor de kwikbarometer een tijdlang praktisch werd gevonden.

Toen mijn grootvader 50 was bedacht Vilhelm Bjerknes dat we maar eens van die mm kwik afmoesten. We schrijven de jaren twintig (ik verneem dit van Wouter Lablans; van Everdingen (1942) noemt in zijn boek 1923 als het jaar van de eerste internationale afspraak hieromtrent). Toentertijd had men het gram cm stelsel, en de Dyne voor kracht. De drukeenheid, de zogenaamde bar, is een Dyne per vierkante centimeter. De luchtdruk op zeeniveau is ongeveer 1 bar (dit kan geen toeval zijn, daar zit iets heiligs achter), maar voor drukvariaties is de millibar (mb) uiteraard handiger. De mb nam vanaf de jaren twintig onder vaklieden de plaats in van de mm Hg. Nederland liep hierin niet voorop en het duurde tot 1938 tot het publicatieweerkaartje van ons geliefd KNMI van mm Hg op mb overging. In het KNMI 100 jaar feestboek uit 1954 merkt iemand ongerust op dat de mb als eenheid nog niet bij het grote publiek is doorgedrongen, maar dat de opticiens in Nederland in deze een grote hulp zijn. Dat de National Weather Service in de VS in 2008 nog steeds inches mercury rapporteert op zijn eigen website is in dit verband wel iets heel bijzonders; zo ver liep/loopt het publiek in NL toch niet achter. Met dank aan de opticiens.

Er is een periode geweest dat men uit zuinigheid de oude gemillimeterde kwikbarometer hield maar er een tweede schaal in mb aan vast timmerde. Een kwestie van vermenigvuldigen met ongeveer 1.33.
Het voordeel van de mb is dat het een drukmaat is, maar zolang men de kwikbarometer gebruikt, doen zich dezelfde breedteproblemen voor als met de mm Hg. Om een lang verhaal kort te maken: zie Bleeker's Tabel IIIb uit 1942.
Ik had natuurlijk met de deur in huis kunnen vallen, of zelfs met twee deuren tussen de keerkringen (de doorzon Stephensonhut indachtig), door te zeggen dat de kwikbarometer helemaal geen druk meet en dat er vanuit het oogpunt van klimaatanalyse wel iets is aan te merken op deze en andere synoptische 'druk' metingen. Hoe dit uit te vogelen? En nu heb ik het maar niet over herleiding tot zeeniveau, de problematische temperatuurcorrectie (zie hierover de kolom van de kleinzoon van Henk de Bruin), de vacuumcorrectie, en de meniscuscorrectie met betrekking tot de vorm van het kwikoppervlak gegeven de soort buis en adhesie tussen de materialen. Het KNMI meet al 16 jaar niet meer met een kwikbarometer, zo hoorde ik van André van Londen en Harry Geurts. Dit is dus allemaal uit de tijd, net als mijn opa en ik. Wel is er zoiets als een bijzondere Reanalysis, of heranalyse van weerkaarten (drie dimensionaal), met moderne analysemethoden maar met gebruikmaking van uitsluitend station luchtdrukgegevens waardoor we heel ver terug kunnen gaan (~1870) en het oude onverminderd van belang blijft. Dat doen de NOAA-jongens in Boulder: Gilbert Compo en Jeff Whitaker. Ik vroeg deze heren of ze iets van het bovenstaande wisten, en dat was niet het geval en ze zijn echt wel slim. Het is natuurlijk een heel werk om te achterhalen of correcties zijn uitgevoerd, welke de correctiemethode toen was, dit te inverteren en modern over te doen, zodat 1870-heden homogeen wordt gemeten, want dat moet natuurlijk wel als je er klimaatvariaties uit wilt halen. Men heeft dit niet echt geprobeerd. De meeste hierboven beschreven mogelijke foutenbronnen zijn gelukkig systematisch, en ons vak is totaal verliefd op systematische fouten die, zoals de naam suggereert, corrigeerbaar en dus werkverschaffend zijn. Immer betere homogeniteitstesten op tijdreeksen worden gebruikt om discontinuïteiten te signaleren en corrigeren. Maar het blijft zo wel *kwik en dirty*.

PS. Het is misschien omdat ik nu de zestig ben gepasseerd, maar ik weiger de hPa als een verbetering van de mb te zien. Hebben de opticiens van Nederland werkelijk hun medewerking hieraan gegeven?!

# Het eerste klimaatadvies in Nederland: ontstaan, inhoud en gevolgen (deel 1)

COR SCHUURMANS EN FONS BAEDE

**Dit jaar is het 25 jaar geleden dat in Nederland het eerste klimaatadvies werd uitgebracht. Het had nog geen directe politieke consequenties, maar wel gaf het een aanzet tot de ontwikkeling van een nationaal programma voor klimaatonderzoek en tot de vorming van een landelijk netwerk van onderzoekers en beleidsmakers. Al eerder werd, ook in Nederland, de vraag gesteld of het toenemend $CO_2$-gehalte van de atmosfeer vroeg of laat niet tot een ongewenste verandering van het klimaat zou leiden. Wie waren de pioniers op dit gebied in Nederland en welke organisaties namen het initiatief tot een nadere bestudering van het probleem? Wat waren de opvattingen die in het eerste klimaatadvies en in de reacties daarop werden verkondigd en in hoeverre zijn die door de latere gebeurtenissen bevestigd of gelogenstraft? Zulke vragen zullen we in dit artikel beantwoorden. Omdat beide auteurs nauw betrokken waren bij de activiteiten in de beginperiode van het $CO_2$- klimaatprobleem zal de beschrijving wellicht niet objectief zijn. Ook pretenderen we geen volledigheid. Wat we beogen is een beeld te geven van de begintijd en van de rol die de meteorologische gemeenschap, maar ook de overheid en de wetenschappelijke organisaties in Nederland, daarin hebben gespeeld.**

De eerste jaren: als startpunt kozen we de jaren zestig omdat het toen op klimaatgebied zowel wetenschappelijk als politiek nog rustig was. We eindigen eind jaren tachtig. Het Nederlands klimaatbeleid begon toen vorm te krijgen, het IPCC werd opgericht, regeringsleiders en staatshoofden schroomden niet langer voor het komende klimaatprobleem te waarschuwen en de Verenigde Naties namen initiatieven om tot internationale afspraken te komen. Heel af en toe veroorloven we ons een doorkijk naar het begin van de jaren negentig.

## Het klimaat in de jaren zestig

Het weer is variabel, ook van jaar op jaar, maar het klimaat is nagenoeg constant. Dat was de opvatting onder meteorologen zo'n 50 jaar geleden, ook op het KNMI. Natuurlijk, er waren ijstijden geweest in het verre verleden en uit kronieken kreeg je de indruk dat het in vroeger eeuwen wel eens kouder of warmer was geweest dan nu (warme Middeleeuwen, Kleine IJstijd in de 17e eeuw), maar in de periode van de instrumentele metingen was er weinig verandering te bespeuren. Dat gold in ieder geval voor het klimaat van De Bilt in de periode vanaf 1900 (zie tabel 1).

Toen er in 1966 dan ook een boekje uitkwam onder de titel 'Oorzaken van klimaatveranderingen', geschreven door de Leidse astronoom drs. A.M. van Genderen wekte dat weinig beroering. De auteur had zijn manuscript aan het KNMI ter lezing aangeboden, waar het, getuige het naschrift, werd gelezen door dr. H. ten Kate, drs. C.J.E. Schuurmans, prof. W. Bleeker en drs. C.J. van der Ham. De nadruk lag sterk op ijstijden en astronomische oorzaken van klimaatveranderingen. Veranderingen in de samenstelling van de aardatmosfeer werden als mogelijke oorzaak kort beschreven, maar volgens Van Genderen zou uit berekeningen (zonder bronvermelding) blijken dat deze niet in staat zijn om werkelijk grote klimaatveranderingen te veroorzaken. De KNMI-reviewers waren het kennelijk met hem eens.

*Figuur 1. Syukuro Manabe, pionier op het gebied van de modellering van het klimaatsysteem (bron: hanssandberg. blogspot.com).*

Gezegd moet worden dat de berekeningen van het temperatuureffect van veranderingen in het $CO_2$-gehalte van de atmosfeer tot medio jaren zestig weinig overeenstemming vertoonden. Bovendien beleefden we toen zulke koele zomers en koude winters dat de gedachte dat het door meer $CO_2$ warmer zou worden als weinig geloofwaardig overkwam. Integendeel: er verschenen artikelen over het ontstaan van een nieuwe ijstijd, ideeën die ook het grote publiek bereikten door de BBC-film "De Weermachinerie", die begin 1975 ook in Nederland werd uitgezonden. Het begeleidende boek van Nigel Calder (Calder, 1974) droeg zelfs als ondertitel "De dreiging van het ijs"!

## Ontwikkelingen

Uit het bovenstaande blijkt wel dat in de jaren zestig en begin zeventig van het KNMI nog weinig initiatief verwacht mocht worden aangaande het $CO_2$-klimaatprobleem. Toch was de auteur van vermoedelijk het eerste Nederlandse populair-wetenschappelijke artikel over de klimaatinvloed van het toenemend $CO_2$-gehalte een KNMI-er, namelijk Wouter Lablans (Lablans, 1970). Maar ook Lablans concludeert dat "de kooldioxide-emissie als oorzaak van klimaatverandering niet duidelijk domineert over andere factoren die invloed kunnen hebben op het klimaat".

Ofschoon Lablans een overzicht gaf van de sterk uiteenlopende berekende temperatuurstijging bij verdubbeling van het $CO_2$-gehalte is het opmerkelijk dat daarin het resultaat van Manabe en Wetherald (1967) (figuur 1) niet is opgenomen. Vooral omdat dit voor het eerst met een vrij realistisch 1-dimensionaal energiebalansmodel van de atmosfeer was berekend, waarin naast convectief warmtetransport, ook de bijdrage van de waterdamp-terugkoppeling was opgenomen. Met dit model werd berekend dat bij toename van het $CO_2$-gehalte de temperatuur in de stratosfeer zou afnemen en in de troposfeer toenemen. Bij verdubbeling van het $CO_2$-gehalte zou de temperatuur aan het aardoppervlak met 2,3 K stijgen.

Het werk van Manabe en Wetherald, uitgevoerd op het Geophysical Fluid Dynamics Laboratory te Washington D.C. (later Princeton) trok internationaal sterk de aandacht, zoals onder andere blijkt uit het *Report of the Study of Man's Impact on Climate* (SMIC), resultaat van een in Stockholm gehouden conferentie in 1971, onder auspiciën van het Massachusetts Institute of Technology (MIT). De deelnemerslijst van deze conferentie vermeldt hoofdzakelijk universiteitsonderzoekers uit Amerika en Europa. Nationale meteorologische instituten waren bij deze activiteiten nog niet betrokken. In zijn proefschrift noemt Jeroen van der Sluijs (1997) het SMIC- report "the first notable assessment of the climate problem".

Veel bredere lagen van de bevolking werden zich bewust van de eindigheid en de kwetsbaarheid van de aarde door het bekende Rapport van de Club van Rome (Meadows, 1972). In dit rapport wordt ook aandacht besteed, zij het zeer beperkt, aan de mogelijkheid dat de mens invloed heeft op het klimaat. Het bevat overigens wel een zeer nauwkeurige extrapolatie tot het jaar 2000 van de atmosferische $CO_2$-concentratie.

## Pioniers in Nederland

Pioniers heb je in verschillende soorten. Allereerst zijn er de personen die signaleren dat er op milieugebied iets gaande is dat mogelijk grote gevolgen kan hebben. Hierboven hebben we al Wouter Lablans genoemd, maar in de jaren daarna waren er ook andere KNMI'ers, zoals Huug van den Dool, Cor Schuurmans en Jaap Wisse, die over het $CO_2$-probleem in de pen klommen. Ook in het boekje 'Luchtverontreiniging en Weer', dat het KNMI in 1972 uitgaf wordt gewag gemaakt van dit probleem.

Meer actief zijn de pioniers die zelf aan het rekenen slaan. Dat deden drie Groningse natuur- en scheikundestudenten, Pieter Tans, Jan Ypma en Theo Thole in 1973. Zij ontwierpen een 1-dimensionaal atmosfeermodel, waarin ze evenals Manabe en Wetherald op het stralingsevenwicht een convectieve aanpassing van het temperatuurprofiel toepasten. Met het model deden ze een aantal experimenten (verdubbeling van het $CO_2$-gehalte, met en zonder waterdampterugkoppeling, invloed van wolken en aërosolen, e.d.). Voor 2 x $CO_2$ en een constante relatieve vochtigheid vonden ze een temperatuurstijging aan het aardoppervlak van 1,96 K (Tans et al., 1973). In Utrecht was het in 1974 de natuurkundestudent Wim Klaassen die zich concentreerde op de ijs(sneeuw)albedo-temperatuurterugkoppeling. Daardoor zou de door Manabe en Wetherald berekende temperatuurstijging van 0,5 K tussen 1970 en het jaar 2000 kunnen worden versterkt tot circa 2 K. Soortgelijke modelberekeningen werden spoedig daarna ook uitgevoerd op het KNMI door de jonge onderzoekers Hans Oerlemans en Huug van den Dool (1978).

Als actieve pioniers kun je ook beschouwen personen die initiatieven genomen hebben om de aandacht van de overheid te vestigen op het $CO_2$-klimaatprobleem. Een van eersten was de bioloog Gerrit Hekstra (figuur 2), een medewerker van het Ministerie van VROM (toen VoMil). Op eigen initiatief en deels in eigen tijd verdiepte hij zich in de literatuur en bezocht internationale conferenties met betrekking tot het opkomende probleem. Hij nam in het midden van de jaren zeventig contact op met het KNMI, maar vond daar voor zijn denkbeelden nog weinig gehoor. Vanaf ongeveer 1981 heeft hij ervoor gezorgd dat het klimaatprobleem aan de orde kwam in de jaarlijkse milieubeleidsplannen van zijn ministerie. In 1980 werd Hekstra adviserend lid van de toen opgerichte $CO_2$-commissie van de Gezondheidsraad (zie hierna). Midden jaren zeventig ontstond binnen de toen nog pas opgerichte Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) het plan om een algemene toekomstverkenning (ATV) op te stellen. De voorzitter van dit project, de econometrist prof. J. S. Cramer vond dat het klimaat daar ook deel van moest uitmaken. Hij betoogde dat er zoiets als een $CO_2$-klimaatprobleem zou kunnen ontstaan, dat op allerlei gebied grote consequenties zou kunnen hebben. Regeringen zouden dan wel eens extra belastingen kunnen

gaan heffen om de $CO_2$-uitstoot te beperken. Voor de meeste mensen en ook voor het KNMI was dat in 1974 nog een brug te ver, maar prof. Cramer kreeg wel medewerking voor zijn ATV-project. Het rapport 'De komende 25 jaar' (WRR, 1977) bevat dan ook enkele pagina's over het klimaat met als belangrijkste uitspraak: 'Het klimaat zal vergeleken met de afgelopen 30 jaar gemiddeld over het jaar minder dan 1 graad Celsius kouder en maximaal 1 à 2 graden warmer zijn'. Deze uitsprak had weinig invloed op de rest van het rapport, maar bij de evaluatie van het rapport in 2004 werd over deze klimaatpassage opgemerkt dat 'de WRR een vooruitziende blik had door het onderwerp in 1977 te agenderen'.

Ten slotte waren er ook al vrij vroeg personen die zich zeer kritisch over het probleem uitlieten. Sommigen daarvan zijn we later sceptici gaan noemen. Zij schreven of spraken over het onderwerp in het openbaar en meenden dat het probleem niet bestond of sterk werd overdreven. Wetenschappers kregen van hen vaak het verwijt te horen dat ze op geld uitwaren en vooral later was het ook de politiek die volgens deze critici onverantwoord hard van stapel liep. Tot de vroege pioniers in deze zin hoorden in Nederland onder andere Simon Rozendaal, wetenschappelijk redacteur van Elseviers Weekblad, en Frits Böttcher, lid van de Club van Rome.

## Gezondheidsraad $CO_2$- Commissie

Tot de pioniers op het gebied van de $CO_2$-klimaatproblematiek moet zeker ook de Filosofiecommissie van de Gezondheidsraad (GR) worden gerekend. De discussies in deze commissie leidden tot de instelling van een commissie die het probleem zou moeten bestuderen. Daaraan voorafgaand nam het commissielid prof. Henk van Bueren (hoogleraar Theoretische natuurkunde Universiteit Utrecht), eind jaren zeventig contact op met het IMAU, met de vraag of het IMAU hier medewerking aan kon verlenen. Ja, maar hoe moest die commissie er verder uitzien? De GR pakte dit handig aan. Zij stuurde een jonge ingenieur, Erik van Ballegooyen, het land in om op plaatsen waar vermoedelijk wel kennis van het probleem bestond

*Figuur 2. Dr. Gerrit Hekstra bij zijn afscheid van VROM in 1999.*

gesprekken te voeren. Zodoende wist de GR een groep personen te verzamelen die op 5 juni 1980 voor het eerst bijeenkwam. Het waren:
Jan Goudriaan (Theoretische Teeltkunde, Wageningen), Gerrit Hekstra (adviserend lid namens VoMil), Pieter Ketner (Vegetatiekunde, Wageningen), Wim Mook (Isotopenfysica, Groningen), Henk Postma (Oceanografie, NIOZ), Piet Schipper (Energiedeskundige TNO) en Cor Schuurmans (Meteorologie, KNMI en UU). Voorzitter prof. dr. A.J.C. Haex van de GR gaf de nieuwe commissie tot taak 'een rapport te maken over de stand van zaken rond het $CO_2$- probleem en de komende jaren op de hoogte te blijven van de problematiek op dit gebied, zodat op ieder moment een advies aan het Ministerie kan worden gegeven'. Cor Schuurmans zou de commissie voorzitten en Erik van Ballegooyen werd secretaris.

*Figuur 3. Prof. dr. L. Ginjaar, minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (1977-1981).*

De commissie hoefde niet vanaf nul te beginnen. Er was inmiddels een uitgebreide literatuur over het $CO_2$-klimaatprobleem, veelal van Amerikaanse origine. Ook waren er verslagen van conferenties in het buitenland, zoals de eerste WMO World Climate Conference (1979), die geheel of gedeeltelijk aan dit probleem waren gewijd.

Zoals uit de taakomschrijving blijkt was het geen haastklus. De groep vergaderde om de 2 à 3 maanden en besteedde veel tijd aan wetenschappelijke discussies. Binnen een jaar kwam daar verandering in door een serieuze adviesaanvraag van de minister van VoMil prof. dr. L. Ginjaar (figuur 3), gedateerd 13 maart 1981. Daarin werd gevraagd om 'een globale analyse van het $CO_2$-vraagstuk met een nadere aanduiding op welke wijze de gezondheid van de mens, inclusief het welzijn, in het geding is'. In de brief van de minister werd verder gesproken over 'een snelle nadere advisering', dus moest het tempo worden opgevoerd. Om de meteorologie in de commissie te versterken werd Robert Mureau van het KNMI aangetrokken. De discussies in de commissie concentreerden zich vrij sterk op de koolstofcyclus en klimaatmodellen. Al vrij snel werden op deze gebieden ook eenvoudige berekeningen uitgevoerd en vergeleken met resultaten uit de literatuur. Begin 1982 was een eerste versie van het rapport klaar. De commissie had namelijk besloten eerst maar een deelrapport uit te brengen over de natuurwetenschappelijke aspecten van het $CO_2$- probleem en de gevolgen voor gezondheid en welzijn (waarvan het ook niet duidelijk was wat dat precies inhield) later in een tweede deelrapport aan de orde te stellen. Door bureaucratische rompslomp duurde het echter nog tot 1983 voor het eerste deelrapport uitkwam.

## Eerste deeladvies inzake $CO_2$-problematiek (1983)

Dit jaar 2008 is het dus 25 jaar geleden dat het eerste officiële advies over het $CO_2$-probleem aan de overheid werd aangeboden.
Allereerst trok de commissie de algemene conclusie dat de toename van het $CO_2$-gehalte van de atmosfeer in de komende eeuw zal leiden tot ingrijpende en onomkeerbare milieu-effecten op wereldschaal. Deze algemene conclusie werd gevolgd door een aantal deelconclusies, waarvan de meeste in het rapport uitgebreid werden onderbouwd.

De deelconclusies betroffen de volgende onderwerpen:

**1.** De koolstofcyclus. De voornaamste oorzaak van de $CO_2$-toename is de verbranding van fossiele brandstoffen. De permanente fractie van $CO_2$ in de atmosfeer bedraagt circa 59% en is opmerkelijk stabiel. Verdubbeling van het huidige $CO_2$-gehalte zal naar schatting in de tweede helft van de 21e eeuw plaatsvinden.

**2.** Directe gevolgen, te weten klimaatveranderingen, veranderingen in de groei van planten en in de hoogte van de zeespiegel. Bij verdubbeling van het $CO_2$-gehalte is + 2 K de meest waarschijnlijke verandering van de wereldgemiddelde temperatuur, bij een toename van 7% van de hydrologische cyclus op wereldschaal. Voor Nederland: hogere temperaturen in alle jaargetijden, meer neerslag in het winterhalfjaar en grotere kans op droogte in voorjaar en zomer.

Door meer $CO_2$ neemt de plantengroei toe; klimaatveranderingen kunnen dit effect versterken en verzwakken.

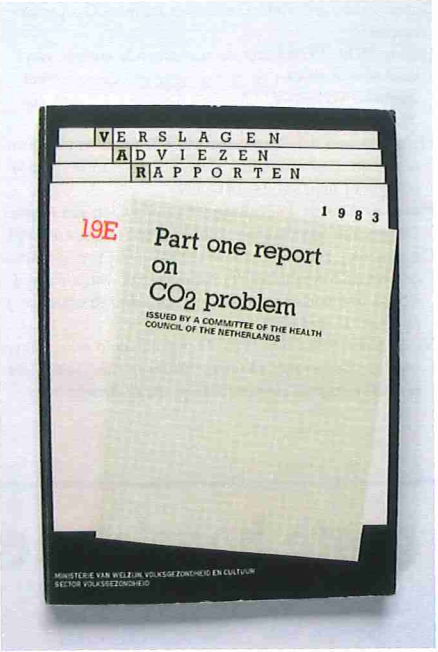
Door tegengestelde effecten op grote ijskappen (afsmelten door hogere temperaturen, aangroei door meer neerslag), blijft de snelheid van verandering van de zeespiegel vooralsnog in de orde van 1 mm per jaar. Hogere zeewatertemperaturen kunnen een desintegratie van delen van de Antarctische ijskap tot gevolg hebben, waardoor een zeespiegelstijging in de orde van 5 m over enkele honderden jaren in principe mogelijk is.

**3.** Indirecte gevolgen. Deze worden voorzien op het gebied van land- en tuinbouw, voedselvoorziening, watervoorziening, energievoorziening, volksgezondheid, kustbeveiliging, bouwen en wonen. Het tweede deelrapport zal daar op ingaan.

**4.** Detectie. De berekende temperatuurstijging door het toenemend $CO_2$ -gehalte is uit metingen nog niet vastgesteld, maar naar alle waarschijnlijkheid valt het tijdstip van detectie vóór het jaar 2000.

**5.** Voorkomen en bestrijden.

De commissie meent dat de vooruitzichten op de ontwikkeling van methoden om $CO_2$ uit de atmosfeer te verwijderen of om de emissie van $CO_2$ in de atmosfeer te beperken het niet aannemelijk maakten dat de toename van het $CO_2$-gehalte zou kunnen worden voorkomen. Het stopzetten of sterk verminderen van de $CO_2$-emissie door beperking van het gebruik van fossiele brandstof lijkt vooralsnog de enige mogelijkheid.




*Figuur 4. Omslag van het eerste rapport van de CO2-commissie van de Gezondheidsraad, uitgegeven in 1983.*

Het rapport sloot af met een tweetal aanbevelingen. In Nederland zou volgens de commissie een instantie in het leven moeten worden geroepen, die tot taak had de Regering op de hoogte te houden van de stand van zaken rond het $CO_2$-vraagstuk. Verder adviseerde de commissie om het onderzoek op het gebied van de $CO_2$- problematiek, zowel in internationaal verband als in Nederland te stimuleren.

## Evaluatie

Het is verleidelijk maar ook riskant deze conclusies van de Gezondheidsraad Commissie te toetsen aan onze huidige kennis. Ze dateren van 1983, vóór het IPCC en vóór de aanzienlijke wetenschappelijke inspanning van later jaren. Toch kan worden vastgesteld dat de conclusies betreffende de koolstofcyclus en de aard en omvang van de mondiale klimaatverandering ook nu nog gelden binnen de marges van de huidige onzekerheid. De uitspraak over de detectie van het antropogene temperatuursignaal vóór het jaar 2000 is juist gebleken. Mitigatie, reductie van $CO_2$-emissies zoals beoogd in het latere Klimaatverdrag en het daarop volgende Kyoto Protocol, werd door de GR Commissie duidelijk niet voorzien.

| | 1901- 1930 | 1931-1960 |
|---|---|---|
| **Temperatuur etmaalgemiddeld** | 9,1 °C | 9,3 °C |
| **Temperatuur gemiddeld minimum** | 5,0 °C | 5,3 °C |
| **Temperatuur gemiddeld maximum** | 13,4 °C | 13,5 °C |
| **Neerslag jaarsom gemiddeld** | 769 mm | 766 mm |

*Tabel 1. Klimaat De Bilt.*

## Reacties

Na het uitkomen van het deeladvies van de GR ontstond er enige bestuurlijke verwarring. Meerdere departementen voelden zich aangesproken en er werd voorgesteld om een interdepartementale commissie met dit probleem te belasten. De Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) werd genoemd en als het over onderzoek ging werd gekeken naar de Raad voor het Natuur- en Milieuonderzoek (RMNO). De $CO_2$-commissie van de GR hoefde zich met dit geharrewar gelukkig niet te bemoeien en ging gewoon verder met de voorbereiding van het tweede deeladvies (Over de maatschappelijke gevolgen van het $CO_2$-probleem), dat in deel 2 van dit artikel zal worden besproken.

Als eindresultaat van het vele bestuurlijke overleg over het eerste deeladvies volgde in januari 1985, twee jaar na het uitkomen van het advies, de oprichting van de Werkgemeenschap $CO_2$-problematiek bij ZWO/NWO en later in datzelfde jaar de eerste gesprekken tussen VROM en de KNAW met als inzet het besluit om een permanente $CO_2$-commissie onder te brengen bij de KNAW. Dat laatste liet echter nog enkele jaren op zich wachten.

Ook werden het RIVM en het KNMI in 1987 door VROM aangewezen als zogenaamde "referentie-instituten", instituten waarop de overheid ten behoeve van haar beleid kon terugvallen voor betrouwbare informatie over het klimaatprobleem. Wij hebben niet de indruk dat dat in de praktijk veel heeft betekend. Pas toen er in 1989 sprake was van de ontwikkeling van een Additioneel Programma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering, verzocht minister Nijpels het RIVM en het KNMI met een voorstel te komen in overleg met andere onderzoeksinstellingen. Resultaat hiervan was het bekende NOP.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de gebeurtenissen na het uitkomen van het eerste deeladvies van de $CO_2$-Commissie van de GR zij verwezen naar het proefschrift van Gerda Dinkelman, Verzuring en broeikaseffect. (Dinkelman,1995).

In het volgende nummer van Meteoro-

logica bespreken we het werk van de Werkgemeenschap $CO_2$-problematiek, het tweede deeladvies van de GR, en de verdere ontwikkelingen tot 1990.


**Literatuur**

Calder, Nigel, 1974: De Weermachinerie en de dreiging van het ijs. Uitg. Bosch en Keuning, ISBN 90 246 6935 9.

Dinkelman, Gerda, 1995: Verzuring en broeikaseffect, de wisselwerking tussen problemen en oplossingen in het Nederlands luchtverontreinigingsbeleid (1970 1994). Acad. Proefschrift, Univ. van Amsterdam.

Genderen, A.M. van, 1967: Aardse en astronomische oorzaken van klimaatveranderingen. Supplement bij *Hemel en Dampkring*, no.5.

Gezondheidsraad, 1983: Deeladvies inzake $CO_2$- problematiek.

Lablans, W.N., 1970: Moet de toenemende emissie van kooldioxide als een verontreiniging van de atmosfeer worden beschouwd? *Chemisch Weekblad*, 17 april, 26-29.

Manabe, S. and R.T. Wetherald, 1967: Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. *J. Atm. Sci.*, 24, 241- 259.

Meadows, Dennis, 1972: Rapport van de Club van Rome, De grenzen aan de groei. Uitg. Het Spectrum, Aula 500.

Oerlemans, J. and H.M. van den Dool, 1978: Energy-balance climate models: stability experiments with a refined albedo and updated coefficients for infrared emission. *J. Atm. Sci.*, 35, 371- 381.

Sluijs, Jeroen P. van der, 1997: Anchoring amid uncertainty; on the management of uncertainties in risk assessment of anthropogenic climate change. Acad. Proefschrift, Universiteit Utrecht.

SMIC, 1971: Inadvertent climate modification, Report of the Study of Man's Impact on Climate (SMIC), MIT Press, Cambridge, Mass.

Tans, P., J. Ypma en T. Thole, 1973: Verandert de mens het klimaat op aarde? *IMOU Verslag V- 73-11*.

WMO, 1979: Proceedings of the World Climate Conference, WMO No. 537

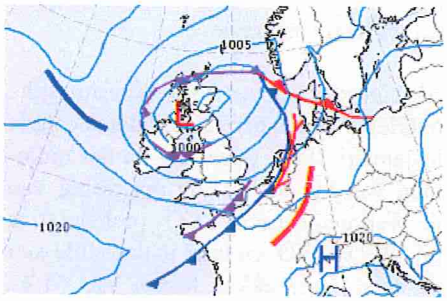
WRR, 1977: De komende 25 jaar. Een toekomstverkenning voor Nederland.


# Zwaar onweer en grote hagelstenen op 22 juni 2008


JEROEN VAN ZOMEREN (KNMI)



**Een combinatie van onstabiliteit, windschering en een koufront zorgde op 22 juni 2008 voor veel neerslag in korte tijd en voor 3 tot 5 cm grote hagelstenen. Bovendien werd er tussen 12.13 en 13.00 UTC een bliksemactiviteit van meer dan 500 ontladingen in een gebied van 50 x 50 km gemeten. In dit artikel wordt deze situatie nader geanalyseerd en verklaard.**


*Figuur 1. Synoptische analyse van 22 juni 2008 12 UTC.*

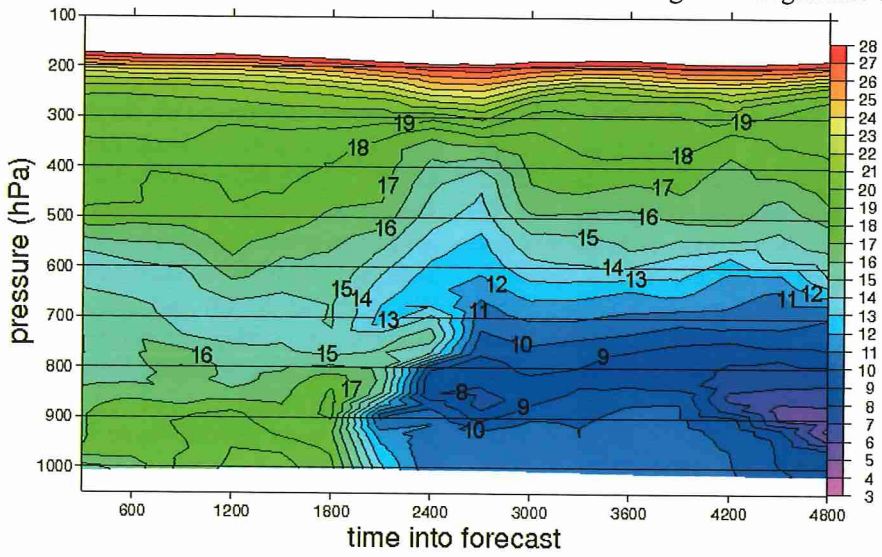
## De synoptische situatie

Op 22 juni beweegt een lagedrukgebied van Ierland via Schotland naar het noordoosten (figuur 1). Een bijbehorend warmtefront is om 12 UTC Nederland al gepasseerd, waardoor er warme lucht naar Nederland stroomt en de temperatuur snel oploopt tot 28-29°C in het oosten. Een "glazen" koufront in kou-advectie beweegt op dat moment over Nederland naar het oosten en zorgt voor net genoeg convergentie om buien te laten ontstaan. Na het koufront beweegt de backbentocclusie (zie kader) over Nederland oostwaarts, waarna de potentiële natte-bol temperatuur ($\theta_w$) op 850 hPa 8°C daalt (figuur 2).

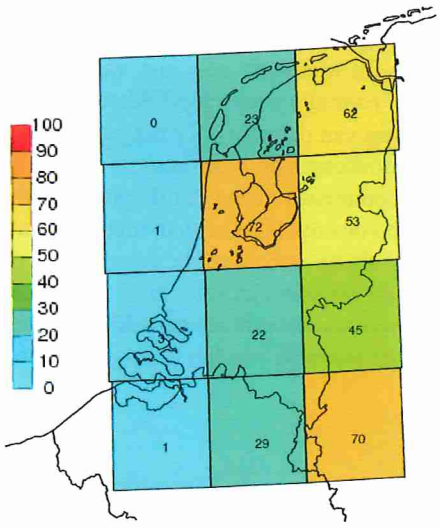
De buien zijn door verticale windschering, verandering van windsnelheid en/of –richting met de hoogte en de onstabiliteit snel zeer hevig en bewegen met een hoge snelheid van ongeveer 80 km/u, noordoostwaarts. Opvallend is ook de wind, die na de passage van het koufront aan zee tot windkracht 7 uit het zuidwesten aantrekt en windstoten bevat van rond 40 knopen op land. Deze windstoten ontstonden door sterke kou-advectie in de grenslaag, in combinatie met sterke instraling.

## Onstabiliteit

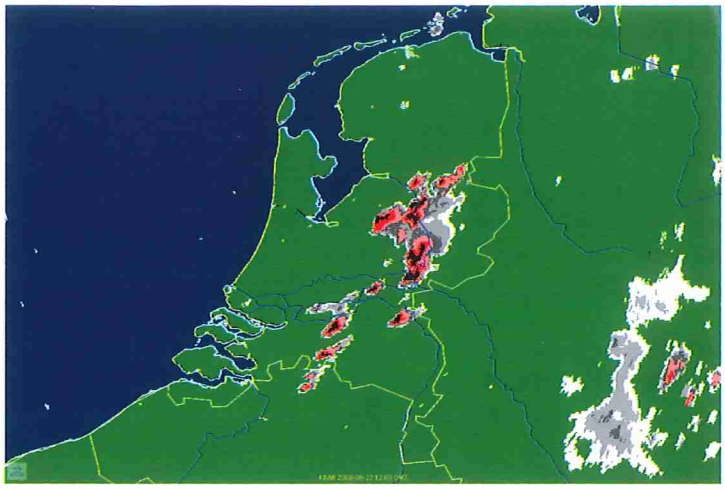
De ballonoplating van 12 UTC van De Bilt (hier niet getoond) geeft aan dat de atmosfeer potentieel onstabiel is. Er wordt een CAPE-waarde (*Convective Available Potential Energy*) van 425 J/kg berekend. Hieruit kan een theoreti-




*Figuur 2. Potentiële nattebol temperatuur ($\theta_w$ in °C) van de HiRLAM run van 22 juni 2008 00 UTC voor Twente. Onderin de atmosfeer (p > 700 hPa) is er in de avond na passage van de backbentocclusie een sterke afname van $\theta_w$ zichtbaar.*




*Figuur 3. KOUW: conditionele kans op meer dan 200 bliksemontladingen in 5 minuten tussen 12 en 18 UTC .*



*Figuur 4. Radarbeeld van 12.00 UTC.*

tijd van het jaar. Om 12 UTC ligt er een zuidwest-noordoost georiënteerde straalstroom op 300 hPa boven het oosten van Engeland. De maximale wind is 100-110 knopen en deze straalstroom beweegt langzaam richting Nederland. Omdat de wind met de hoogte toeneemt, kunnen de buien die ontstaan relatief lang blijven bestaan doordat de 'downdraft' (daalstroom) en de stijgstroom gescheiden blijven en elkaar niet uitdoven.

sche maximale 'updraft' (stijgstroom) worden bepaald met de formule $w = (2\times CAPE)^{1/2}$, waarbij w de maximale stijgstroomsnelheid in m/s is. Met een CAPE van 425 J/kg voor De Bilt levert dit een maximale stijgstroom van 29 m/s op. Het is geen extreme waarde maar wel een indicatie dat er onweersbuien kunnen ontstaan. Deze energie wordt nog wel tegengehouden door een kleine hoeveelheid CIN (*Convective INhibition*, de hoeveelheid energie die een pakketje lucht tegenhoudt om te kunnen stijgen) van -26 J/kg. Voordat deze energie vrij kan komen moet er òf een opwaartse forcering zijn òf de temperatuur en/of dauwpunt in de onderste laag van de atmosfeer moet toenemen. De ballonoplating van 12 UTC van Essen (Duitsland) had met 990 J/kg al een stuk meer energie.

## Schering

Belangrijk voor deze situatie is ook de verticale windschering. De wind neemt fors toe met de hoogt; op 3 km staat 60 knopen en op 9 km hoogte (~300 hPa) 85 knopen, wat veel wind is voor deze

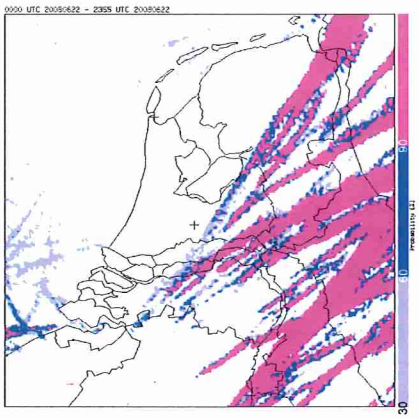
## KOUW, zwaar onweer verwachting

KOUW (Kansverwachtingen Onweer ten behoeve van Uitgifte Weeralarm tot 12 uur vooruit), een statistische onweersverwachting, gaf met de run van 06 UTC, 100% kans op meer dan 1 ontlading en een conditionele (en absolute) kans van 50-70% op meer dan 200 ontladingen in 5 minuten (figuur 3), voornamelijk in het oosten van het land. Eerdere verwachtingen van KOUW gaven iets andere waarden maar voor het oosten waren dit geen grote afwijkingen. De 12 UTC run gaf een preciezere locatie waar het zwaarste onweer plaats zou gaan vinden. Maar op het moment dat de run beschikbaar was waren de buien al op hun hevigst en vrijwel het land uit. Dat het onweer hevig zou zijn gaf KOUW goed aan.

## Backbentocclusie

Een backbentocclusie is een geoccludeerd front dat om een lagedrukgebied van richting verandert en de karakteristieken heeft van een koufront.

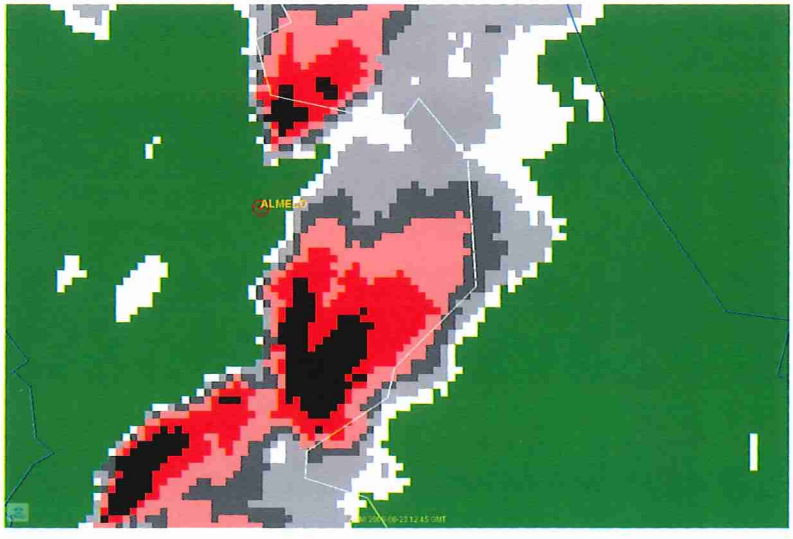
De potentiële nattebol temperatuur ($\theta_w$) wordt verkregen door een luchtpakketje op een bepaalde hoogte droog-adiabatisch op te tillen totdat deze verzadigd is, en vervolgens nat-adiabatisch te laten dalen naar 1000 hPa. De potentiële nattebol temperatuur is voor adiabatische processen constant en leent zich goed om verschillende luchtsoorten te onderscheiden. Met name de waarde op 850 hPa, die niet wordt beïnvloed door de grenslaag, wordt hiervoor gebruikt.

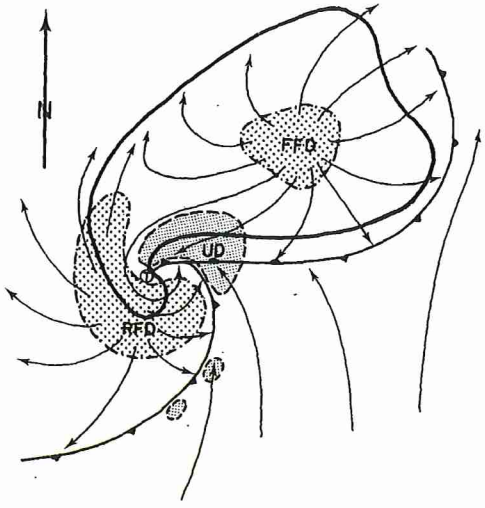


*Figuur 5. Kans op hagel tussen 00.00 - 23.55 UTC.*

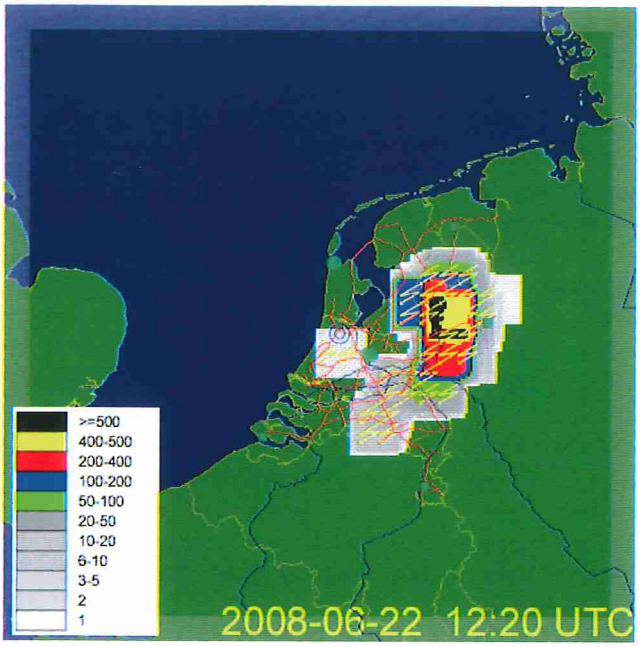
## Waarnemingen

Door de hoge treksnelheid duurden de buien maar kort. Ondanks dat door de relatieve kleinschaligheid de meeste buien door de mazen van het meetnet heen zijn gegaan, is er wel het één en ander te zien. Onder andere is er in Hupsel bij een bui een windstoot van 20 m/s gerapporteerd, in Beek is in 10 minuten




*Figuur 6. Links: supercell om 12.45 UTC ten zuidoosten van Almelo. Rechts: klassieke supercell met RFD: 'Rear Flank Downdraft' (daalstroom aan de voorzijde van bui), FFD: 'Forward Flank Downdraft' (daalstroom aan de achterzijde van bui) Up: stijgstroom. (Bron: Lemon en Doswell, 1979).*




*Figuur 7. Onweersintensiteit om 12.20 UTC.*

9 mm neerslag gevallen met 500 meter zicht.

De eerste cel ontstond nabij Woensdrecht rond 10.30 UTC en ontwikkelde zich razendsnel op/nabij het koufront, dat ook te herkennen is aan de (lichte) buien boven de Wadden. Rond 11.30 UTC ontwikkelen zich ten zuidwesten van deze bui nog enkele buien terwijl de eerste cel sterk is gegroeid en zich splitst in meerdere (zware) cellen. Net na 12.00 UTC (figuur 4) zijn de buien zo hevig dat er in een gebied van 50 x 50 km meer dan 500 ontladingen per 5 minuten worden gehaald en er uit de zwaarste buien hagelstenen van 4-5 cm diameter vallen. Na 13.30 UTC bewegen de buien over de grens naar Duitsland. In de avond bewegen over Zuid-Limburg nog enkele zware onweersbuien oostwaarts. Het hagelkaartje (figuur 5) geeft de route van de buien goed weer. Daarnaast geeft het hagelkaartje ook goed weer hoe hevig de hagel was in de buien. Niet alle buien bewogen dezelfde kant op. Kenmerkend voor een supercell, een zware onweersbui met een persistent roterende stijgstroom, is dat ze vaak de neiging hebben om naar rechts (of links) af te buigen ten opzichte van de algehele trekrichting.

Meerdere buien hadden ook uiterlijke kenmerken van een supercell. Op de radarbeelden van 12.45 UTC (figuur 6a) zijn treffende gelijkenissen te zien met de theorie (figuur 6b). Vooral opvallend is de V-notch ([1]), de V-vorm aan de noordoostkant van de bui. Dit wordt veroorzaakt door een intense stijgstroom, waaromheen de stroming divergeert.

Opvallend was dat in de media iedereen sprak over de hagelstenen en het onweer nauwelijks werd genoemd. Uiteraard zijn hagelstenen van 4-5 cm in Nederland zeer uitzonderlijk, maar de onweersintensiteit was eveneens hevig. Tussen 12.13 en 13.00 UTC is er een bliksemactiviteit van meer dan 500 ontladingen in een gebied van 50 x 50 km gemeten (figuur 7). Dat de vele ontladingen minder indruk hebben gemaakt dan de hagelstenen valt af te leiden uit de hoeveelheid inslagen. De hoeveelheid wolk-tot-wolk ontladingen is vele malen groter dan het aantal inslagen.

Het was een uitzonderlijke situatie. Het was duidelijk dat de juiste condities voor hevig onweer en hagel aanwezig waren, maar de vraag was wanneer de buien zich precies zouden gaan ontwikkelen en waar deze het hevigst zouden zijn. Er was geen sprake van een buienlijn die Nederland in trok en goed te volgen was. De buien moesten nog ontstaan en als een bui ontstond was dit binnen enkele minuten een onweersbui. Toen de buien om 10.30 UTC eenmaal ontstonden was het een kwestie van nowcasten, aan de hand van de waarnemingen (radar, satelliet, actuals) de buien volgen en bepalen waar ze heen zouden bewegen en het hevigst zijn.

## Gevolgen

In Heerlen raakte één persoon gewond bij een brand door een inslag in een woning. Daarnaast is er veel schade veroorzaakt door wateroverlast, wind-

### Wallcloud occlusie

Vanaf de grond was er nabij Almelo rond 12:30 UTC een *wallcloud* (wolkenmuur) te zien, met zelfs even een indicatie dat er een funnel aanwezig was (figuur 9). De wolkenmuur is een visualisatie van een sterke stijgstroom en is te zien als een verlaagde (mogelijk roterende) wolkenbasis waaruit het niet regent. Een roterende wolkenmuur is een visualisatie van een mesocycloon, een roterende stijgstroom in een zware bui, wat de bui per definitie tot een supercell maakt, mits de mesocycloon persistent roteert. Een wolkenmuur wordt gevormd door een stijgstroom (figuur 6) die vochtige, door regen gekoelde lucht van de "Forward Flank Downdraft" (daalstroom aan de voorzijde van de bui) inzuigt. Deze vochtige lucht condenseert snel nadat deze omhoog wordt gezogen waardoor hier de wolkenbasis zakt. Windhozen vormen zich voornamelijk vanuit (roterende) wolkenmuren en naast grote hagelstenen, zwaar onweer en (zeer) zware windstoten zijn windhozen dan ook zeker iets om rekening mee te houden bij supercells.

*Figuur 8. Links: geknakte bomen bij Hummelo (foto: Erwin Klein). Rechts: hagelstenen in Arnhem – Klarendal (foto: Jorrit Teerink).*

*Figuur 9. Wolkenmuur met een slurf nabij Almelo (foto: Bernard Hulshof).*

stoten en vooral door hagel. Zo trof een hagelbui auto's die stonden geparkeerd op een fabrieksterrein en in de haven in Emden. Hierbij werden 30.000 nieuwe Volkswagens vernield ([2]). De meeste auto's liepen flinke lakschade en gebroken ruiten op. Foto's (figuur 8) en de videobeelden via Youtube ([3]) geven de gevolgen goed weer.

*Met dank aan: Robert Mureau, Sander Tijm, Rudolf van Westrhenen, Maurice Schmeits, Ernst de Vreede, Frans Debie, Rob Groenland, Bernard Hulshof, Erwin Klein en Jorrit Teerink voor het gebruik van de foto's.*

**Literatuur**

Lemon L.R. and C.A. Doswel III, 1979: Severe Thunderstorm Evolution and Mesocyclone Structure as Related to Tornadogenesis, *Monthly Weather Review*, 107, 1190.

**Internetbronnen**

[1]http://www.zamg.ac.at/eumetrain/EUMeTrain2005/Supercell/phys.htm

[2] http://www.nuzakelijk.nl/ , http://www.nu.nl

[3]http://nl.youtube.com/watch?v=Yk4vQbCaEKQ
http://nl.youtube.com/watch?v=GLoKpOGe_P8
http://nl.youtube.com/watch?v=8EdnyqtpJcw
http://nl.youtube.com/watch?v=KsVaBTGCFcc

# Opmerkelijke publicaties

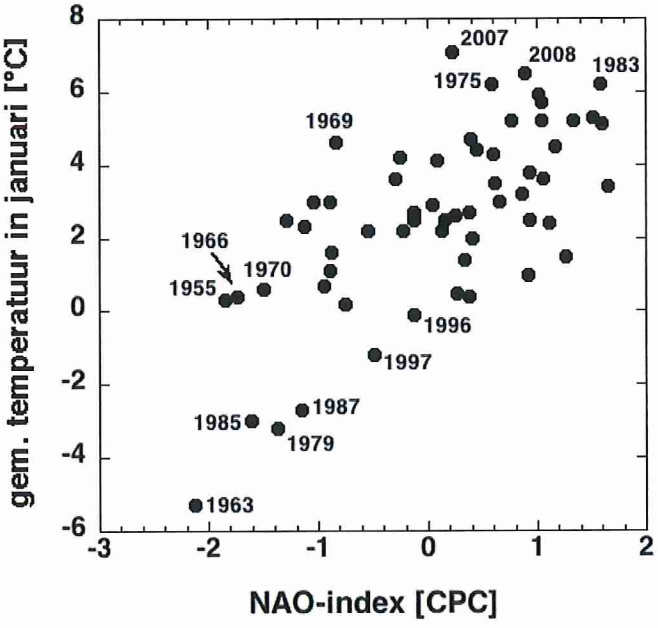
# Lage temperaturen in de stratosfeer en warme Nederlandse winters

AARNOUT VAN DELDEN (IMAU)

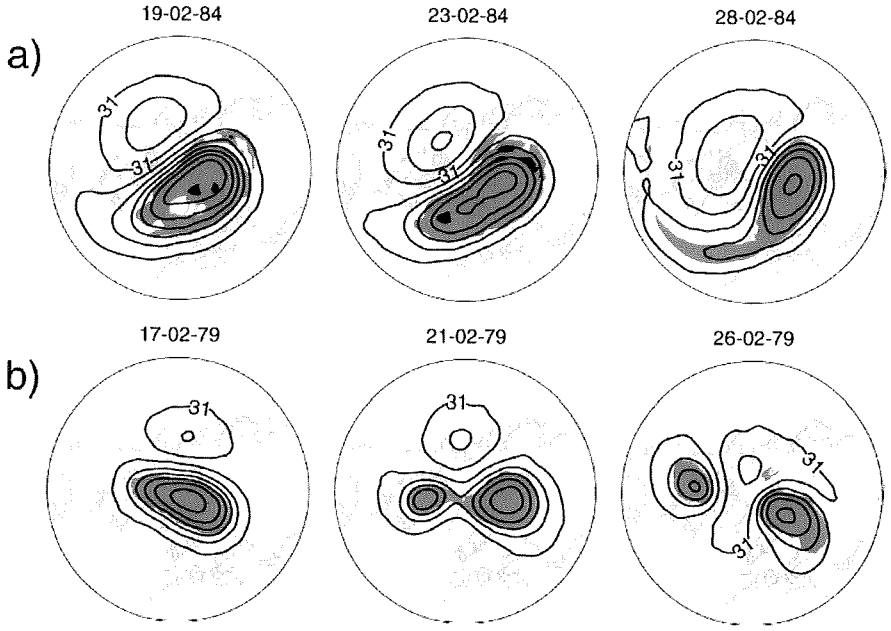
De stratosfeer, de statisch stabiele zeer ijle luchtlaag boven een hoogte van 10 km, is de laatste decennia afgekoeld, waarschijnlijk door afnemende ozonconcentraties en toenemende kooldioxideconcentraties. Boven De Bilt worden bijna elke winter opnieuw recordlage temperaturen gemeten [1]. Het record ligt nu op -87,2°C, waargenomen op een hoogte van 21,5 km op 19 februari 2008. Tegelijkertijd worden de winters in Nederland steeds zachter. Vanaf 1950 is de gemiddelde januaritemperatuur op 1,5 m hoogte in De Bilt met gemiddeld 0,46°C per decade gestegen. Deze stijging is sterker dan op grond van het broeikaseffect valt te verwachten. Er zijn inmiddels aanwijzingen dat de oorzaak van de vele zachte winters van de laatste 20 jaar in Nederland en omgeving deels moet worden gezocht in de stratosfeer. Vooral Mark Baldwin en medewerkers (Baldwin et al, 2001, 2003, 2007; Thompson et al., 2002) maken duidelijk dat de stratosfeer in de winter een meetbare invloed uitoefent op het weer nabij het aardoppervlak op gematigde breedte. Schuurmans en Van Dorland hebben hierover in 2003 in Meteorologica al gerapporteerd.

Baldwin en zijn medewerkers hebben uit waarnemingen een duidelijk statistisch verband aangetoond tussen de sterkte van de stratosferische vortex boven de pool en de NAO-index. De NAO-index is een maat voor de sterkte van de westenwinden nabij het aardoppervlak boven de Atlantische Oceaan tussen IJsland en de Azoren. De polaire stratosferische cyclonale vortex ontstaat door afkoeling van de atmosfeer in de polaire nacht. Het blijkt dat een sterke en koude (zwakke en relatief minder koude) stratosferische polaire vortex gepaard gaat met een positieve (negatieve) NAO-index. Bij een hoge NAO-index zijn de depressies in dit gebied sterker.

We kunnen dus stellen dat lagere temperaturen boven de pool in de stratosfeer gepaard gaan met een hogere NAO-index en daarmee diepere depressies op de Atlantische oceaan, waardoor een gemiddeld sterkere aanvoer van zachte maritieme lucht in west Europa in stand wordt gehouden en daarmee minder koude winters. Figuur 1 laat zien dat de NAO-index en de temperatuur aan het aardoppervlak




*Figuur 1: Scatterplot waarmee het verband tussen de NAO-index en de gemiddelde januaritemperatuur in De Bilt wordt aangetoond. Het verband tussen NAO en temperatuur voor de extreem koude maanden (1963, 1979, 1985, 1987, 1996 en 1997) lijkt systematisch anders dan het verband voor de andere maanden. Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met het verloop van de winter, bijvoorbeeld de aanwezigheid van een sneeuwdek, in de voorgaande maanden in de omgeving van Nederland (bron NAO-index: [4]; bron temperatuur: [5]).*




*Figuur 2: Een SSW (sudden stratospheric warming) van het type 'vortexverplaatsing' (a) (februari 1984) en een SSW van het type 'vortexsplitsing' (b) (februari 1979). De contouren corresponderen met de geopotentiaal op 10 hPa (label in km; contourinterval: 0.4 km). Gebieden waar de potentiële vorticiteit boven een bepaalde kritische waarde uitkomt worden donker weergegeven. De meeste SSW's komen voor in februari (bron: Charlton and Polvani, 2007).*

in De Bilt in de maand januari positief gecorreleerd zijn. Thompson et al. (2002) laten zien dat lage wintertemperaturen aan het aardoppervlak in West-Europa relatief vaak gepaard gaan met een zwakke stratosferische polaire vortex.

De NAO-index stijgt sinds begin deze eeuw niet meer ondanks de Biltse stratosferische kouderecords en ondanks de verdere stijging van de kooldioxideconcentraties. Dit blijkt samen te hangen met een toename, vanaf 1999, van de frequentie van zogenaamde *sudden stratospheric warmings* (SSW's). Een SSW is wellicht het meest spectaculaire meteorologische fenomeen in de winter-stratosfeer. SSW's ontstaan als gevolg van het "breken" van grootschalige golven die vanaf het aardoppervlak de stratosfeer indringen. Dit proces lijkt op het breken van een zeegolf nabij het strand. Tijdens een SSW stijgt de temperatuur in een groot gedeelte van de Arctische stratosfeer binnen één of twee dagen met enkele tientallen graden. De stratosfeer na een SSW herstelt niet snel. Het duurt vaak minstens één maand voordat de "normale" lage temperaturen die vóór de SSW heersten weer worden waargenomen (dit is vooral het geval bij SSW's waarbij vortexsplitsing optreedt, waarover later meer). Stralingsafkoeling moet dit bewerkstelligen en dit proces werkt traag in de stratosfeer.

SSW's zijn vrij zeldzaam. Uit een recente studie van Charlton en Polvani (2007), waarbij uit de ERA-40 heranalyse [2] een SSW-klimatologie (voor de jaren tussen 1957 en 2002) is geconstrueerd, blijkt dat de frequentie van het voorkomen van een sterke SSW zeer variabel is. De maximale sterkte die de polaire vortex bereikt in de winter hangt mede af van het al of niet optreden van een SSW in de eerste helft van de winter. Gemiddeld komen sterke SSW's in november, december of januari slechts eens in de twee jaar voor, maar vanaf de winter van 1988-1989 tot aan de winter van 1997-1998 was er geen enkele sterke SSW in deze maanden! De afwezigheid van SSW's in de jaren 90 kan de gemiddeld lage polaire stratosferische temperaturen in deze periode dus ook verklaren. Dit was tevens de periode waarin de NAO-index in de winter hoger was dan gemiddeld en ook de periode waarin de winters in Nederland relatief zeer zacht waren (afgezien van die van 1996 en 1997). Het lijkt erop dat het al of niet voorkomen van sterke SSW's in het begin of in het midden van de winter een grote invloed heeft op de NAO-index in de rest van de winter (omdat zoals gezegd de gevolgen van de SSW vaak minstens een maand aanhouden), en daardoor ook op de wintertemperatuur in Nederland.

De zaak ligt eigenlijk nog ingewikkelder. Charlton en Polvani (2007) laten namelijk zien dat er twee soorten SSW's zijn (figuur 2): de SSW die samenhangt met een verplaatsing van de vortex van de pool naar lagere breedte en de SSW die samenhangt met een splitsing van de vortex in twee aparte stukken. Het laatste type SSW beïnvloedt de stratosferische temperatuur in het Arctische gebied op grotere schaal en langduriger dan de eerste soort, waarbij de vortex nauwelijks in kracht afneemt en zich binnen pakweg een week weer op de oorspronkelijke positie boven de pool bevindt. De recordlage stratosferische temperaturen die in 2008 boven De Bilt op, respectievelijk, 22 januari en 19 februari zijn waargenomen waren te wijten aan een verplaatsing van de koude polaire vortex richting West-Europa waarbij aan de rand van de vortex (dichtbij de Noordpool) tegelijkertijd een sterke temperatuurstijging optrad. Overigens zouden de SSW's van januari en februari j.l. niet aan de criteria voor een "sterke SSW" van Charlton en Polvani voldoen.

SSW's waarbij vortexsplitsing optreedt zijn relatief zeldzaam. Van de 18 intense SSW's die op het noordelijk halfrond tussen 1957 en 2002 in de maanden november, december en januari zijn voorgekomen, gingen 8 gepaard met een splitsing van de vortex. Boven het zuidelijk halfrond is er nog maar één SSW van dit type waargenomen, namelijk in september 2002. Dit geval trok grote belangstelling. Het maartnummer van het jaar 2005 van Journal of the Atmospheric Sciences is hieraan gewijd. Ook op de "SPARC-meeting" in Bologna [3] in de eerste week van september waren SSW's onderwerp van grote belangstelling.

**Literatuur**

Baldwin, M.P., and T.J. Dunkerton, 2001: Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, 294, 581-584.

Baldwin, M.P., D.B. Stephenson, D.W.J. Thompson, T.J. Dunkerton, A.J. Charlton, A. O'Neill, 2003: Stratospheric memory and extended-range weather forecasts, *Science*, 301, 636-640.

Baldwin, M.P., M. Dameris, and T.G. Shepherd, 2007: How Will The Stratosphere Affect Climate Change? *Science*, 316, 1576-1577.

Charlton, A.J., and L.M. Polvani, 2007: A new look at stratospheric warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks. *J.Climate*, 20, 449-469.

Schuurmans, C, en R. van Dorland, 2003: Voorboden uit de stratosfeer. *Meteorologica*, 1-2003, 25-29.

Thompson, D.W.J., M.P. Baldwin, and J.M. Wallace, 2002: Stratospheric connection to northern hemisphere wintertime weather: implications for prediction, *J. Climate*, 15, 1421-1428.

**Internetbronnen**

[1] http://www.knmi.nl/VinkCMS/news_detail.jsp?id=40635

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

[3] http://www.atmosp.physics.utoronto.ca/SPARC/

[4] http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_index.html

[5] http://www.knmi.nl/klimatologie/

MeteoConsult
A MeteoGroup Company

## Hoofd Research Afdeling (M/V)

De meteorologische research afdeling van Meteo Consult is gevestigd in Wageningen. Vanuit deze afdeling worden nieuwe technieken en modellen ontwikkeld om de dienstverlening aan onze klanten te optimaliseren. Dat kan door nauwkeuriger weersverwachtingen te ontwikkelen of door producten te bedenken die nog beter aansluiten op de wensen van onze klanten op het gebied van veiligheid, economie en milieu. Zowel fysische modellering als statistische verwerkingen worden regelmatig toegepast.

Binnen de groeiende afdeling werken momenteel 10 academici aan diverse projecten, zowel voor Meteo Consult als voor onze buitenlandse dochterbedrijven.

**Functieprofiel**
Het afdelingshoofd heeft een bovengemiddeld WO werk- en denkniveau, met kennis en/of ervaring op het gebied van de meteorologie. Hij of zij geeft direct leiding aan de medewerkers en rapporteert aan de algemeen directeur. Het afdelingshoofd is (op termijn) als projectleider betrokken bij meerdere research projecten. Het afdelingshoofd is lid van een internationaal orgaan binnen onze groep voor strategische ontwikkelingen op het gebied van de meteorologie.
Verder is hij/zij (op termijn) lid van het management team.

**Competenties**
Het afdelingshoofd moet goed kunnen organiseren en plannen, is analytisch sterk en een inspirerend leider. Een goede uitdrukkingsvaardigheid in Nederlands en Engels, zowel in woord als geschrift, spreekt voor zich. Verder verwachten wij eigenschappen als stressbestendigheid, flexibiliteit en een ondernemende instelling om goede resultaten te leveren.
Meteo Consult biedt een inspirerende werkomgeving, een goede beloning en een prettige informele werksfeer bij de marktleider op het gebied van meteorologie in Europa.

Voor meer informatie over deze functie kunt u contact opnemen met de heer Terpstra, tel 0317 399800. Een assessment kan deel uitmaken van de selectieprocedure.
Uw sollicitatie met motivatie en CV kunt u versturen aan mevr. H. Berger. E-mail: PZ@weer.nl.

# Ingezonden brief

# De Low Level Jet is geen jet

TIJMEN DE BOER
LUCHTVAART-HOOFDMETEOROLOOG B.D.

Naar aanleiding van het artikel van Baas, Bosveld en Klein Baltink (Meteorologica juni 2008) wil ik graag de volgende aanvullingen geven.
Het valt mij op dat in de vakliteratuur, wetenschappelijke artikelen en nu ook in Meteorologica (juni 2008; maar ook al eerdere artikelen) de term Low Level Jet (LLJ) gebruikt wordt, terwijl dat onjuist is.
De onderhavige jet is namelijk geen jet. Een jet (jet stream) wordt gedefinieerd als een lange smalle band van hogere windsnelheden. Hoe hoog doet er hier niet veel toe (60 kt in de luchtvaartmeteorologie), maar altijd is een jet een smalle band. Daar is in het geval van het Nachtelijk Wind Maximum (NWM) geen sprake van, het is juist een windmaximum op geringe hoogte dat een zeer grote horizontale uitgestrektheid beslaat. We moeten het dus gewoon NWM noemen, zoals in de inleiding al wordt aangegeven. Het is jammer dat daarna de foutieve Amerikaanse benaming wordt gehanteerd.

Het is zelfs makkelijk in het Engels weer te geven: *Nocturnal Wind Maximum*, met dezelfde afkorting, wat willen we nog meer?
Deze term wordt gelukkig ook regelmatig gebruikt in *Boundary Layer Meteorology*.

Het zuivere Nachtelijk Wind Maximum wordt naar mijn opvatting, anders dan in het artikel verwoord, alleen maar bepaald door de combinatie uitstraling en ontkoppeling. Als er sprake is van advecties en geowindveranderingen is het geen zuivere koek meer en zullen deze effecten de sterkte en hoogte van het NWM veranderen of bepalen. In veel van die gevallen vindt het dan ook niet meer over een groot horizontaal gebied plaats, maar juist in een beperkte zone waar de advectie optreedt. Dan kun je weer aan een jet denken…! Welke soort dan ook.

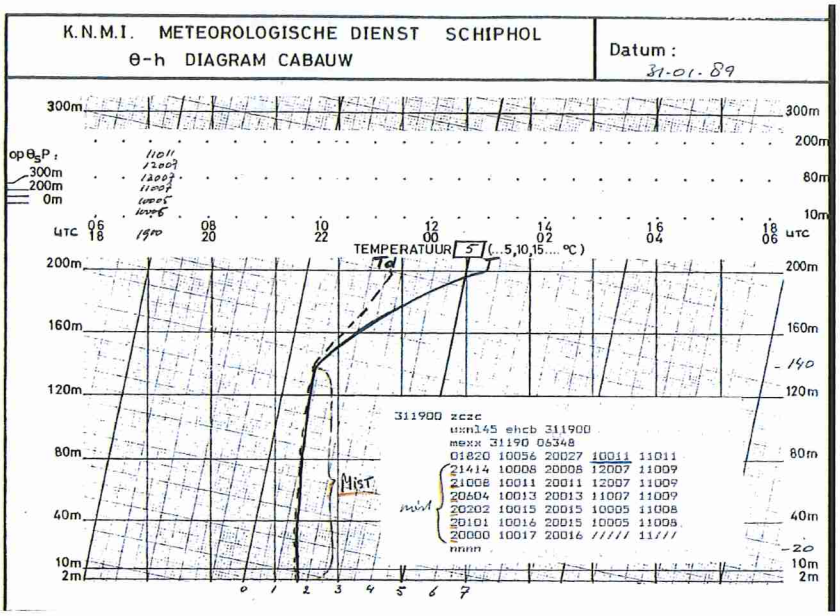
Ik wil er verder met nadruk op wijzen, en dat is voor praktijkmeteorologen van groot belang, dat anders dan in de eerste paragraaf van het artikel vermeld, de grenslaag door stralingsafkoeling al voor zonsondergang stabiel wordt! En wel ongeveer anderhalf uur voor zonsondergang bij mooi weer (in- en uitstraling) in de zomerperiode. Dat zijn de zo beroemde uurtjes voor o.a. ballonvaarders die geen thermiek of teveel turbulentie mogen hebben.

De bevindingen in het artikel komen verder mooi overeen met de ervaring die ik in 30 jaar op Schiphol heb opgedaan aangaande deze materie. Door de jaren heen heb ik ca. 200 "cabauw-grafiekjes" uitgezet, waarvan er hier ergens in een kast nog zo'n 150 moeten liggen. Een deel daarvan heb ik gebruikt om bij het 20-jarig bestaan van "de Mast" (1993) het belang van die metingen ook voor de praktijkmeteoroloog, en dus niet alleen voor de wetenschappers, voor een groter gehoor duidelijk te maken.
De grafiekjes werden uitgezet met behulp van het halfuurlijkse MEMA bericht. Zie figuur 1.

```
262000 zczc
       uxnl45 ehcb 262000
       mexx 26200 06348
       /1820 10195 20149 07009 11010
       01414 10200 20152 07010 11010
       01008 10203 20154 07009 11010
       00604 10201 20159 06007 11008
       /0202 10193 20164 05005 11006
       /0101 10189 20165 05003 11004
       /0000 10182 20165 ///// 11///
       nnnn

ENDOUTPUT
```

*Figuur 1. Mema-bericht. Kolommen van links naar rechts: hoogte indicatie, T, Td, wind en windstoot. (Hier een jong NWM van 10 kt op 140 m).*




*Figuur 2. Een Cabauw diagram van een winterse mistsituatie (MEMA later ingevoegd).*

Dankzij Cabauw zijn we vaak in staat de dikte van de mist te geven (en dus een betere prognose van het moment van oplossen), een inschatting te doen van het tijdstip van onstabiel worden van de grenslaag (beter zicht, hardere wind) en in de luchtvaartmeteorologie het geven van waarschuwingen voor windschering, enz.
Zelfs advectie van drogere lucht, wat in een nachtelijk stabiele situatie vaak aan de grondwaarnemingen niet of nauwelijks te zien is, is met behulp van Cabauw scherp waar te nemen en verbetert de mist- of zichtverwachting aanzienlijk.
("Er komt geen mist meer", hoorde ik dan iemand of mezelf in de nachtdienst roepen.)
Jammer is dat in het artikel die verbinding naar de praktijk ontbreekt. Het artikel doet het voorkomen dat dit fenomeen alleen boven Cabauw voorkomt, maar op zijn minst moet vermeld worden dat het boven heel Nederland en nog wel een beetje verder optreedt. Niet voor niets heeft Blackadar het in 1957 voor het eerst beschreven in Amerika.
Voor de praktijkmeteorologen zou een handreiking met hapklare brokjes gewenst zijn. Ik zal er een paar aanreiken:
1) Het maximum van de windsnelheid in het NWM vindt gemiddeld plaats rond 01 uur UTC. Dat heeft te maken met de oscillatie van de verschil-vector "grondwind-geowind" rond de geowind (zie artikel) die op onze breedte ruim 15 uur duurt en waarbij de maximum windsnelheid dan bereikt wordt "halverwege", als de wind in het NWM evenwijdig is aan de geowind.
2) Een redelijke benadering van de windsnelheid in het NWM in de nacht of vroege ochtend is gemiddeld 3 á 4 keer de actuele grondwindsnelheid.

Als je een verwachting uit moet spreken aangaande het komende NWM, kun je vrij gemakkelijk het volgende aannemen:
3) De verwachte hoogte van het optreden is 1,5 á 2 keer de geowind in het kwadraat (in meters).
4) De verwachte snelheid is te benaderen door de verschilvector geowind-grondwind op te tellen bij de geowind. Neem hiervoor dan de grondwind die er staat aan het begin van de avond, dus als de "wind is gaan liggen"
De kennis hierboven heb ik maar gedeeltelijk zelf opgedaan. Die eer gaat natuurlijk vooral naar de wetenschappers die dit fantastische verschijnsel mede hebben ontrafeld en die dat aan de praktijkmensen hebben willen en kunnen duidelijk maken. In mijn geval en actieve periode noem ik dan vooral Van Ulden, De Bruin, Holtslag en Wieringa. Het zijn ook de diverse publicaties die zij al dan niet binnen het KNMI op hun naam hebben staan waaruit ik jarenlang met plezier heb geput.
Verder ook zeker dank aan Peter Baas, Fred Bosveld en Henk Klein Baltink die met hun artikel in Meteorologica het Nachtelijk Windmaximum weer eens prominent onder de aandacht hebben gebracht. En dat verdient het!

# Reactie

Dank aan Tijmen de Boer voor zijn reactie en nuttige aanvullingen vanuit de praktijk. In ons artikel hebben we ervoor gekozen consequent de term low-level jet (LLJ) te gebruiken omdat dit in de literatuur de meest gangbare benaming is. De dominantie van de term LLJ is wellicht te verklaren doordat analyses aan het nachtelijk windmaximum (NWM) meestal uitsluitend plaatsvinden aan verticale profielen van de horizontale wind. En aan een enkel windprofiel met een duidelijk maximum (dus in elk geval 'jetlike') is natuurlijk verder niets te zien over de horizontale uitgestrektheid. In artikelen wordt er regelmatig een alinea gewijd aan de verschillende interpretaties van de term 'low-level jet'. Meestal om duidelijk te maken in welk type LLJ (lees: maximum onderin het windprofiel) de auteur geïnteresseerd is. De typering heeft dan veelal betrekking op de ontstaanswijze van de LLJ.
De horizontale uitgestrektheid is geen punt van discussie. We hebben dan ook nergens de suggestie willen wekken dat het NWM alleen boven Cabauw voorkomt. Over het algemeen komt het NWM overal voor waar zich door stralingsafkoeling en ontkoppeling een sterke inversie gevormd heeft. Niet voor niets is een andere voorgestelde benaming 'inversie wind maximum'. Is er sprake van advectie of van een verandering in de geowind, dan zal het uiteindelijke NWM afwijken van het tekstboekgeval. Dit neemt niet weg dat er nog steeds sprake kan zijn van een NWM.

Terecht wijst De Boer erop dat de grenslaag, beginnend bij het aardoppervlak, al stabiel wordt voordat de zon ondergaat. Dit was onnauwkeurig geformuleerd in ons artikel. Door het (bij onbewolkte hemel) altijd aanwezige langgolvige stralingsverlies zal de netto straling al geruime tijd voor zonsondergang negatief worden. Door onze analyse te richten op de situatie van 6 uur na

zonsondergang hebben we hier impliciet rekening meegehouden.
Zoals gememoreerd door De Boer is in de jaren zeventig van de vorige eeuw door wetenschappers van het KNMI onderzoek gedaan naar het NWM. Veelal op basis van de Cabauwmast-waarnemingen en campagnegewijze radiosonde-oplatingen in Cabauw. Door de langjarige meetreeks van de grenslaagwindprofiler in Cabauw te combineren met de mastwaarnemingen werd het nu mogelijk om een gedetailleerde klimatologie op te stellen van het NWM.
De praktische handreikingen voor het maken van verwachtingen voor NWM's zoals De Boer die aangeeft vormen een leerzame aanvulling op ons verhaal. De genoemde praktijkregels komen inderdaad overeen met onze ervaringen met de Cabauwdataset.

*Peter Baas, Fred Bosveld en Henk Klein Baltink.*

# Korte berichten

# Zomerschool "Atmosferische Grenslagen" in Les Houches

Van 17 tot 27 juni 2008 werd in Les Houches (nabij Chamonix, Frankrijk) een internationale zomerschool gehouden over de atmosferische grenslaag. Deze was bedoeld voor promovendi en junior onderzoekers op dit vakgebied. De zomerschool werd georganiseerd door Han van Dop (UU), Bert Holtslag en Jordi Vila (beiden WU). Logistieke steun werd gegeven door Kees van den Dries (WU), Yvonne Wouda (UU) en de lokale organisatie van Les Houches. De faciliteiten in Les Houches zijn eigendom van de Universiteit van Grenoble en hebben internationaal faam gekregen door de fantastische ligging in de Alpen en door de vele internationale bijeenkomsten op het gebied van de natuurwetenschappen.

De organisatie van de zomerschool past goed in de Nederlandse traditie van grenslaagonderzoek en het internationaal uitdragen van kennis hieromtrent. In het verleden werd in 1981 door Frans Nieuwstadt en Han van Dop al een cursus gehouden in Scheveningen over atmosferische turbulentie en modelleren van luchtkwaliteit. In 1997 werd door Bert Holtslag en Peter Duynkerke een bijeenkomst georganiseerd op de Academie van wetenschappen te Amsterdam over de voortgaande inzichten in bewolkte en onbewolkte grenslagen.

Er was een grote belangstelling om mee te mogen doen aan deze zomerschool (ruim 100 aanmeldingen), maar er konden maar 50 personen worden toegelaten. Er werd door 17 docenten in totaal ongeveer 40 lezingen gegeven over de laatste inzichten in grenslaagconcepten, waarnemingmethodes en de ontwikkeling in fijnmazige numerieke modellen (*Large-eddy simulation models*). Daarnaast waren er reflecties op het vakgebied en werd door de deelnemers een postersessie verzorgd over hun eigen onderzoek. Ook werd door de deelnemers actief deelgenomen aan practica met vele oefeningen over de stof. De zomerschool werd door de deelnemers als zeer goed gewaardeerd (4.5 op schaal van 1-5).
Uit de lezingen en discussies op de zomerschool bleek dat het vakgebied grote ontwikkelingen heeft doorgemaakt in de laatste jaren, maar ook dat er nog vele uitdagingen zijn om de kennis verder te ontwikkelen en effectief toe te passen. De grenslaagkennis is daarbij niet alleen van belang voor verdere ontwikkeling van weer- en klimaatmodellen, maar ook relevant bij verdere toepassing van windenergie en verbetering van luchtkwaliteit.
Het volledige programma van de zomerschool, achtergrondinformatie en de presentaties zijn beschikbaar op de website van de zomerschool (http://www.phys.uu.nl/~dop/summerschool/home.html ).

*Deelnemers en docenten aan de grenslaagzomerschool in Les Houches.*

Seizoensoverzicht

# LENTE 2007

Klaas Ybema en Harm Zijlstra

**Sinds de "klimaatsprong van 88" is er maar één lente geweest die kouder uitviel dan de nu geldende normaalwaarde. Dat was in 1996. Met een beetje goede wil mag je de lentes van 1991, 1995, 2001 en 2006 "normaal" noemen, maar de rest zat er (soms flink) boven. Gemiddelden van meer dan 10 graden zijn in De Bilt inmiddels niet meer ongebruikelijk. Ook dit jaar ging mee in die trend. Was het vorig jaar vooral april die voor records zorgde, ditmaal kwam het warmteoverschot vooral van de meimaand, die in het midden en zuiden van het land de laatste honderd jaar niet zo warm is geweest. De zon scheen vooral in het noorden aanzienlijk meer dan normaal en daar verliep de lente ook te droog. Dat was niet het geval in het zuiden waar juist een neerslagoverschot werd gemeten. Het onweerde vaker dan normaal – vooral door een actieve maartmaand – en op 1 en 12 maart stormde het aan de kust.**

## Temperatuur

Met in De Bilt een etmaalgemiddelde van 10.2°C bezet de afgelopen lente een 9e plaats sinds 1901, voorafgegaan door vooral recente jaren, zie tabel 1 en figuur 1. De gemiddelde maximum temperatuur werd in De Bilt vastgesteld op 14.8°C tegen 13.4 normaal en dat was goed voor een tiende plek sinds 1901, ver achter de recordhouder van vorig jaar (16.9°C). Het gemiddeld minimum bedroeg daar 5.1°C tegen normaal 4.3°C en dat is niet bijzonder. Dat geldt ook voor de extremen in De Bilt: 27.4°C op 10 mei en –4.4°C op 23 maart.

| | |
|---|---|
| 2007 | 11.7 |
| 1998 | 10.6 |
| 1990, 2000 | 10.5 |
| 1992, 1993, 1945, 1999 | 10.4 |
| 2008 | 10.2 |
| 1943, 2003 | 10.1 |

*Tabel 1. Hoogste gemiddelde temperatuur (De Bilt; lente 1901-nu).*

Het aantal zomerse dagen (figuur 2) was uitzonderlijk. Met in De Bilt 9 tegen 3 normaal, kwamen alleen de lentes van 1992 en 2000 met 12 nog hoger uit. Opmerkelijk is, dat geen enkel station De Bilt in dit opzicht overtroefde.

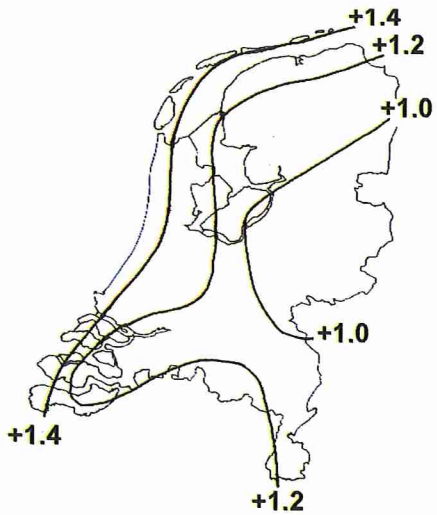
Door een flink aantal koude nachten in de eerste helft van april, kwam het aantal vorstdagen nog iets boven normaal uit (figuur 3). De Bilt noteerde er 17 tegen 14 normaal en Soesterberg haalde er 24, zie figuur 3. De meimaand was verantwoordelijk voor een overschot aan warme dagen. De 19 van De Bilt was een evenaring van het record van 1917. De lente eindigde daar op 21 warme dagen (normaal 11), net iets minder dan in de lentes van 1993 en 2007 (24) en die van 1952 (22). Het landelijk gemiddelde bedroeg 19, 1 lager dan vorig jaar.

## Zonneschijn en straling

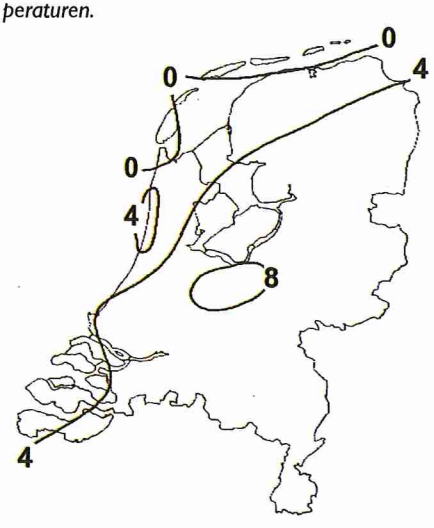
Dankzij een vrij normale maart, een vrij zonnige april en een zeer zonnige

| | maart | april | mei | lente | normaal |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gemiddelde** | 5.9 | 8.9 | 15.7 | 10.2 | 8.9 |
| **Afwijking** | +0.1 | +0.6 | +3.0 | +1.3 | |
| **$T_{max}$ > 20°C** | 0 | 2 | 19 | 21 | 11 |
| **$T_{max}$ > 25°C** | 0 | 0 | 9 | 9 | 3 |
| **$T_{max}$ < 0°C** | 0 | | | 0 | 0 |
| **$T_{min}$ < 0°C** | 9 | 8 | 0 | 17 | 14 |
| **$T_{min}$ ≤ -5°C** | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

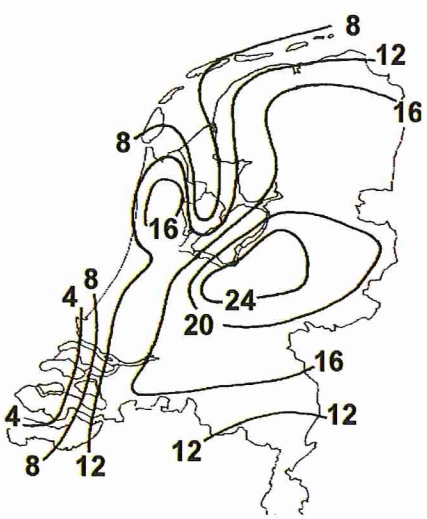
*Tabel 2. Temperatuur in De Bilt ( °C) en het aantal dagen met extreme maximum- en minimumtemperaturen.*




*Figuur 1. Afwijking temperatuur in °C (gemiddeld +1,1 °C).*




*Figuur 2. Aantal dagen met $T_{max}$ > 25 °C (gemiddeld: 5.1, normaal: 2.4 , De Bilt: 9).*




*Figuur 3. Aantal vorstdagen (gemiddeld: 14, normaal 13).*

meimaand, boekte de lente landelijk een overschot van 105 zonuren, zie figuur 4 en tabel 3.
Van 1 tot 15 mei boekte De Kooy een onafgebroken reeks van heldere dagen (>= 80 % zon) en de 19 dagen waarop die plaats in mei eindigde, was goed voor een landelijk record. De globale straling in De Bilt bedroeg 124.9 kJ/cm$^2$ tegen 116.1 normaal. In 1990, 2003 en 2007 lag dit cijfer aanzienlijk hoger. Landelijk liep de straling uiteen van 124.1 kJ/cm$^2$ te Deelen tot 143.8 op Terschelling.

## Onweer

Vooral dankzij een actieve maartmaand werden er landelijk 35 onweersdagen geteld tegen 26 normaal (Tabel 4). Dat blijft achter bij de jaren 2005 en 2006 en het record (41) van onder andere 1983. Sommige plaatsen kwamen in totaal tot 12 onweersdagen, maar in het noordwesten deed het verschijnsel zich nauwelijks voor (figuur 5). De Bilt telde 9 onweersdagen tegen 7 normaal.

## Neerslag

Gemiddeld viel er in ons land 189 mm tegen 166 normaal. Vorig jaar bedroeg de oogst 181 mm en in het jaar daarvoor 205. De Bilt kwam tot 159 mm (normaal 171). Achter het gemiddelde verschuilt zich een fiks contrast tussen het natte zuiden en het droge noorden, zie ook tabel 5 en figuur 6.
Maart was echter overal veel te nat. De neerslag was redelijk over de maand verdeeld met in de derde decade in Zeeland lokaal meer dan 80 mm en bijna geen droge dagen. De Bilt telde 31 (normaal 30) dagen met 1 mm of meer en 3 (4) met 10 mm of meer. Ook De Bilt lag met 162 neerslaguren iets boven de normaal van 151.

| | aantal | uren | zonloze dagen | |
|---|---|---|---|---|
| maart | 117 | (+3) | 3 | (-4) |
| april | 185 | (+27) | 0 | (-3) |
| mei | 260 | (+56) | 0 | (-2) |
| lente | 561 | (+85) | 3 | (-9) |

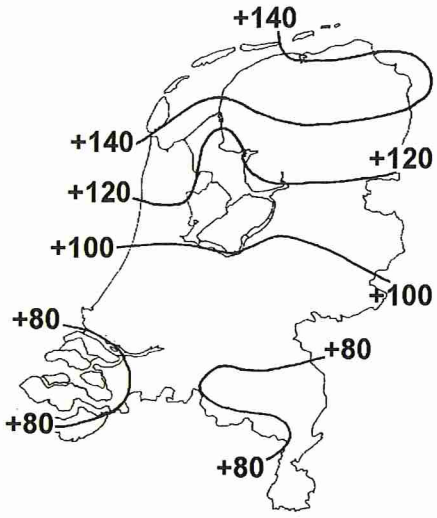
*Tabel 3. Zonneschijn in De Bilt.*

| | | |
|---|---|---|
| maart | 12 | +7 |
| april | 11 | +3 |
| mei | 12 | -1 |
| lente | 35 | +9 |

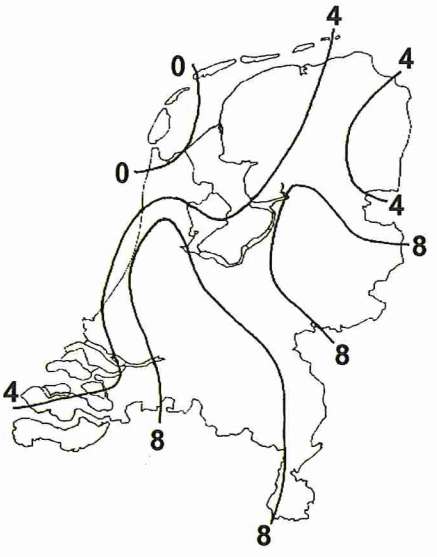
*Tabel 4. Aantal dagen met onweer in Nederland.*

Moeizaam op gang gekomen in maart, maar prima afgerond in mei, dat was de lente van 2008.

*Dit overzicht is een samenvatting van het uitgebreidere overzicht dat te vinden is in de Weerspiegel.*



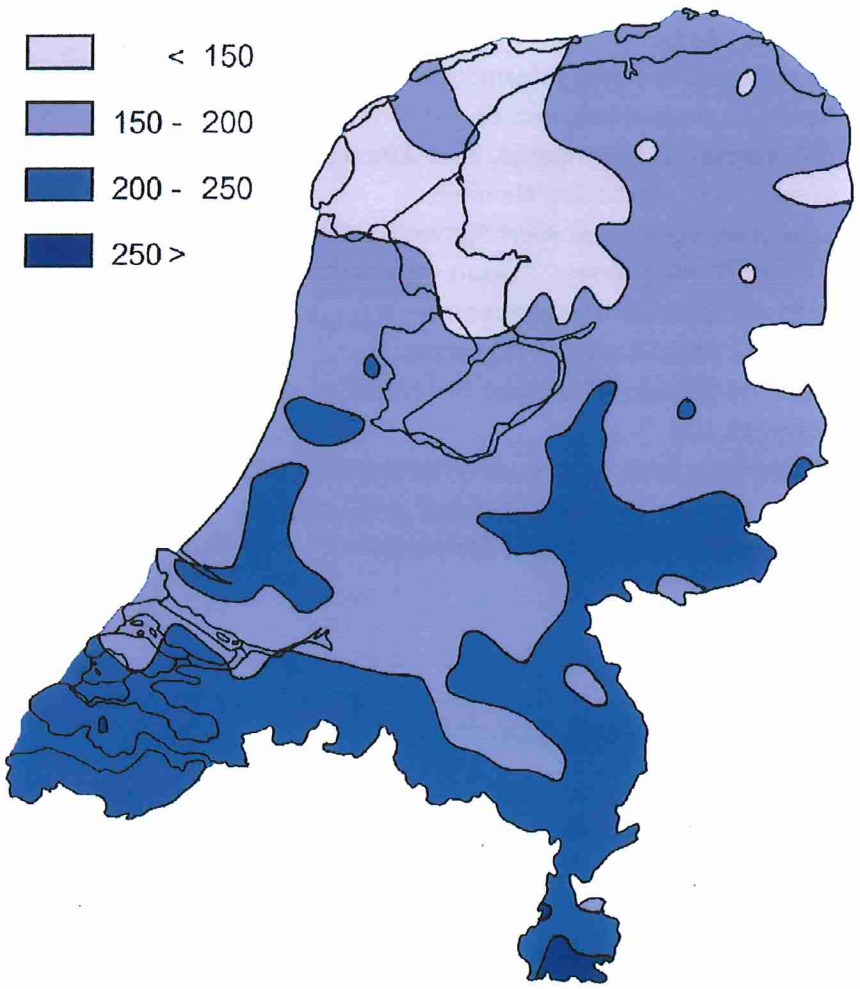

*Figuur 4. Afwijking van het aantal zonuren (gemiddeld: +104 uren).*




*Figuur 5. Aantal dagen met onweer (gemiddeld: 5, normaal: 3).*

| | maart | april | mei | lente | normaal |
|---|---|---|---|---|---|
| Landgemiddelde | 117 | 36 | 37 | 189 | 166 |
| Afwijking | +53 | -9 | -21 | +23 | |
| Neerslagduur (De Bilt) | 100 | 30 | 32 | 162 | 151 |
| Afwijking | +33 | -14 | -9 | +11 | |

*Tabel 5. Neerslag (in mm) en neerslagduur (in uren).*




*Figuur 6. Seizoensom van de neerslag in mm (gemiddeld: 189 mm, normaal: 166 mm).*

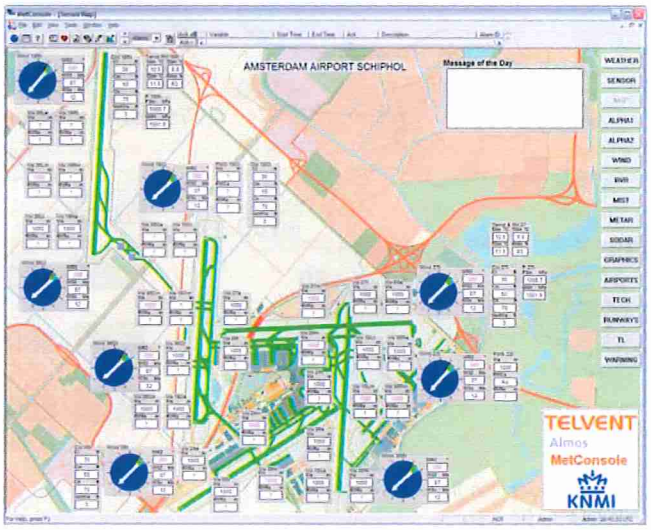
# TELVENT

Telvent biedt sinds 1986 wereldwijd meteorologische oplossingen.

Van het brede product portfolio, onder de naam **METWORX®,** is door Telvent o.a. het volgende geleverd:

- **Automated Weather Stations (AWS)-Networks** (Nationale meetnetten):
  Australië (BOM), Nederland (KNMI), Zwitserland (MeteoSwiss), Kuwait, Brunei;
- **Automated Weather Observation System (AWOS):**
  Nederland (16 vliegvelden, incl. Schiphol Airport), België (18 vliegvelden, incl. Brussel), Hongarije, Peru, Kosovo, Zambia, Namibië, Spanje, UK, Duitsland;
- **Automated Terminal Information Service (ATIS):**
  België (3 vliegvelden, incl. Brussel D-ATIS), Iran (10 vliegvelden), Hongarije, Zuid-Africa (3 vliegvelden), Barbados, Namibië;
- **Low Level Windshear Alert System (LLWAS):**
  Taiwan (2 vliegvelden), Kuwait International Airport, Spanje (2 vliegvelden);
- **Runway Visual Range (RVR) sensor:**
  Hungary (Budapest), Kosovo (Prishtina), Kroatië (Zagreb), UK;
- **World Area Forecast System (WAFS) -SADIS/ISCS:**
  Korea (Inchon en Kimpo), Hongarije (Budapest), Kosovo (Prishtina), Kroatië (Zagreb);
- **Forecaster Workstations:**
  Koninklijke Luchtmacht, Belgische Luchtmacht;
- **Meteorological Switching Systems:**
  Koninklijke Luchtmacht, Belgische Luchtmacht; Italiaanse CAA.

Met het modulaire softwarepakket van Telvent, **MetConsole ®,** is het mogelijk alle producten in één systeem te integreren en te presenteren:




Contact gegevens:
Telvent Environment Nederland
Landzichtweg 70, 4105 DP, Culemborg
Tel: +31 (0) 345 544 080
Fax: +31 (0) 345 544 099
Internet: www.telvent.com

TELVENT IT for a Sustainable and Secure World

# VWK & NVBM - SYMPOSIUM 8 NOVEMBER 2008

## METEN IN DE METEOROLOGIE

### PROGRAMMA

**10.00-10.45 Invloed van stedelijk gebied op temperatuurmetingen (Theo Brandsma, KNMI,)**
De meeste steden zijn warmer dan het omringende platteland en vormen daardoor een warmte-eiland in het landschap, bekend als Urban Heat Island (UHI). De grootte hiervan (verschil temperatuur in de stad en op het platteland) neemt af van het centrum van de stad naar de buitenwijken en is vooral afhankelijk van de omvang van de stad en de weersomstandigheden. In de presentatie gaan we in op de achtergronden het UHI en op de mogelijke effecten van het UHI op langjarige trends, zowel wereldwijd als voor De Bilt.

**10.45-11.30 Waterdamp waarnemingen met GPS (van ruis naar informatie) (Siebren de Haan, KNMI)**
Waarnemingen van vocht in de bovenlucht zijn schaars. Operationeel zijn alleen radiosonde waarnemingen beschikbaar. De waar-neemfrequentie en bedekking van radiosonde is niet voldoende voor de kleine atmosferische schalen. Een nieuwe bron voor vocht-waarnemingen maakt gebruik van de signalen die het GPS navigatiesysteem van de satellieten ontvangt. Deze signalen worden verstoord door de atmosfeer. Hieruit kan de totale hoeveelheid waterdamp worden geschat. Een aantal voorbeelden laat de relatie zien van de waterdamp structuren en stevige onweersbuien.

**11.30-12.00 Koffie**

**12.00-12.45 Achtergronden van het meten met de radar (Iwan Holleman of Hans Beekhuis, KNMI)**
We werpen een blik op het nieuwe scanschema en de werking hiervan. Verder besteden we aandacht aan een aantal basisprincipes van de radar: wat en hoe meet een radar. U krijgt dan gelijk in deze introductie al een beeld van de zogeheten spanwijdte van een radarbeeld; met andere woorden: hoe hoog in een bui of wolk zit ik te kijken op een bepaalde afstand van de radar.

**12.45-13.45 Lunch**

**13.45-14.30 Zin en onzin van de radar (Rob Groenland, KNMI)**
In deze presentatie besteden we aandacht aan de diverse foutenbronnen, zoals valse reflecties, smeltringen en het niet oppakken van motregen op lage hoogte. Nieuw in de KNMI-radarbeelden zijn de zogeheten dopplerbeelden; hoe we deze moeten gebruiken zien we in het laatste deel van deze presentatie.

**14.30-15.15 Meetinstrumentarium meteorologisch meetnet (Wiel Wauben, KNMI)**
In deze presentatie wordt een overzicht gegeven van de sensoren die het KNMI en haar partners gebruiken in het automatische waarneemnetwerk. De sensoren en hun eigenschappen worden kort toegelicht. De sensoren en algoritmen die gebruikt worden voor de automatisch visuele waarnemingen van wolken, zicht en weer worden in meer detail uiteengezet. Typische verschillen tussen manuele en automatische waarnemingen worden getoond. Nieuwe ontwikkelingen op instrumentatiegebied komen ook aan bod.

**15.15-15.45 Thee**

**15.45-16.30 Wind en energie (Erik Holtslag, Ecofys)**
Windenergie groeit wereldwijd, zowel in afmetingen als in doelstellingen en relevantie. In deze presentatie is er aandacht voor de huidige stand van zaken van de techniek, voors en tegens en kansen die windenergie bied om de 'energiemix' te vergroenen. Tevens is er aandacht voor de rol die de moderne meteoroloog speelt in de windenergie!

**16.30-..... Borrel**

**Dit symposium wordt gehouden bij de vakgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit te Wageningen.**
**Gebouw 204 (Atlasgebouw), Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen.**

**Entreeprijs voor leden van de VWK en NVBM is 15,- inclusief lunch en borrel. Niet-leden betalen 20,-**
**Inschrijven tot uiterlijk 25 oktober bij Heleen ter Pelkwijk (pelkwijk@knmi.nl). De inschrijving is pas volledig als de entreeprijs is overgemaakt op rekeningnummer: Postbank 626907, tnv NVBM, Wageningen.**

column

# Kwik II

HENK DE BRUIN

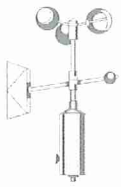
Hoe moeilijk het is een lange ongestoorde waarnemingsreeks op te bouwen ondervond ik in 1990 toen ik in Marokko een weerstation bezocht even ten zuiden van Oujda. Ik beschikte over een vrij lange meetreeks van dit station en wilde deze gebruiken voor een onderzoek naar de 'impact' van een toekomstig waterreservoir. Het station lag in een moeilijk bereikbare, dunbevolkte streek en was midden op een pleintje van een klein dorp geïnstalleerd. Kinderen speelden er luidruchtig omheen. Onze komst bleef niet onopgemerkt en binnen enkele minuten kwam een man op een brommer met een bezorgde blik in de ogen het pleintje opgereden. De reden van zijn bezorgde gemoedstoestand werd snel duidelijk. Toen ik het deurtje van de Stevensonhut opende keek ik recht in het linkeroog van een broedende vogel. Deze temperatuurreeks was duidelijk behept met een systematische fout gedurende het broedseizoen. Dit heet in vakjargon het broedkasteffect. Hoewel. Ik denk dat de kwikthermometer allang verkocht was en dat de man op de brommer de temperatuur gewoon thuis aflas van zijn halal thermometer gekocht bij de lokale HEMA.

De thermometerhut, waarin ik de broedende vogel aantrof, is ontworpen door de Schot Thomas Stevenson. De hut die zijn naam draagt is jarenlang dé WMO-standaard geweest. In zijn geboorteland is Thomas hoofdzakelijk bekend door zijn vuurtorens, die hij bouwde met zijn broer David. Deze staan op plaatsten met namen als Sound of Mull, St. Abb's Head, en Eilean Bàn. Dan begrijp je dat Thomas' zoon Schateiland schreef. Er werd overwogen broer David naar de toen beroemde school van meester MacIntyre te sturen. Dat is leuk toeval, want hede ten dage maakt ene Steve McIntyre het leven zuur van het IPCC. Steve vecht met verve de betrouwbaarheid van lange temperatuurreeksen aan. In september 2007 werd tijdens de World Conference on Research Integrity aandacht aan deze discussie besteed.

De Stevensonhut is inmiddels uit de gratie en ik moet derhalve met enige schroom bekennen dat ik, als gastdocent bij het IHE te Delft, bijna 20 jaar de Stevensonhut heb aangeprezen als heilige standaard, aan studenten uit ontwikkelingslanden. Dit op het dak staand wanneer ik een practicum inleidde. Naar een idee van mijn voorganger, Jon Wieringa, was op het dak van het gebouw aan de Oude Delft een volledig weerstation ingericht, inclusief een Stevensonhut. Vandaar. De studenten konden zo waarnemingen verrichten vóór en na de hoorcolleges. Veel studenten bekleedden thuis belangrijke functies in het waterbeheer en hadden zo al een grote praktijkervaring. Als jong docent had ik de 'werking' van een Stevensonhut braaf uit een boekje bestudeerd en tijdens mijn eerste inleiding legde ik uit dat de deur van de hut op het noordelijke halfrond naar het noorden opengaat en op het zuidelijk halfrond naar het zuiden. De zon kan dan de thermometer bij aflezing niet beschijnen. Fout, fout! Tussen de twee keerkringen (62% van het totale aardoppervlak) kan de zon zowel in het noorden als in het zuiden staan en daar heeft een Stevensonhut dus twee deuren. Eén van de studenten waste mij met dit feit de oren. Nog een geluk dat er geen Inuit zich had ingeschreven voor de cursus, want binnen de poolcirkels wordt het nog ingewikkelder. Zo blijkt maar weer: het meeste leer je van lesgeven. De Stevensonhut en het bijbehorende onderstel waren gemaakt aan de hand van een formele KNMI-tekening. Tijdens mijn eerste practicum waaide de hut van zijn onderstel. Op de tekening was niet aangegeven dat de hut aan het onderstel moest worden vastgeschroefd. Gelukkig was het gevaarte niet van het dak gewaaid. Dat zou einde oefening hebben betekend. Naast de temperatuur werd de luchtvochtigheid gemeten met een haarhygrometer, een standaard natte- en drogebol thermometer, en een slingerpsychrometer. Verder waren er verschillende stralingsinstrumenten, inclusief de Campbell-Stokes en een bimetaal Robitch. Een integrator, nog ontwikkeld door drs. Schoen van het KNMI, printte gemiddelde waarden van de Kipp-solarimeter. Heel modern allemaal dus. De studenten moesten aan het eind een rapport schrijven. Opvallend waren de grote verschillen die werden waargenomen. Met name die tussen de kwikthermometer, de bimetaal thermograaf, het drogebol deel van de slingerpsychrometer en de Six maximum- en minimumthermometer. Het illustreert wederom hoe moeilijk het is om betrouwbare lange ongestoorde temperatuurreeksen op te bouwen.

Op het incidentje over de Stevensonhut in de tropen na hebben mijn Delftse studenten het mij nooit moeilijk gemaakt. Dat geldt ook voor mijn latere Wageningse studenten. Op die ene late vrijdagochtend na dan, toen ik met mijn mond vol tanden stond toen een studente mij vroeg: "U heeft het steeds over temperatuur. Wat is dat eigenlijk?" Als iemand van u een kort antwoord weet dan houd ik me aanbevolen. Kort samengevat komt het allemaal neer op het volgende. Iedereen weet dat de temperatuur op aarde stijgt. Slechts weinigen weten hoe je temperatuur nauwkeurig kan meten en slechts een enkeling kan in één zin uitleggen wat temperatuur eigenlijk is. Volgens de kleinzoon van André Aengenent blijkt voor luchtdruk iets dergelijks te gelden.

# Sponsors van de Nederlandse Vereniging van BeroepsMeteorologen zijn:

ingenieursbureau **wittich & visser** bv
wetenschappelijke en meteorologische instrumenten

postbus 1111 2280 cc rijswijk nederland
telefoon 070-3070706 fax 070-3070938
**www.wittich.nl** **info@wittich.nl**

**Bakker&Co**

Postbus 1235, 3330 CE Zwijndrecht, Tel. 078-6101666

**EKOPOWER**

SPECIALISTEN IN WEERSTATIONS
P.O.BOX 4904, 5604 CC EINDHOVEN
website www.ekopower.nl

**TELVENT**
Almos

Professionele
Meteosystemen

Telvent Netherlands
Adres: Landzichtweg 70
4105 DP, Culemborg
Postbus 422
4100 AK, Culemborg
Nederland
Tel: +31 (0) 345 544 080
Fax: +31 (0) 345 544 099
Internet: www.telvent.com

**CaTeC**

Turfschipper 114
2292 JB Wateringen
☎ 0174-272330
🖷 0174-272340
✉ info@catec.nl

www.catec.nl



**Colofon**

Redactieadres:
Meteorologica
Postbus 464
6700 AL Wageningen
e-mail: leo.kroon@wur.nl
Tel. 0317-482604

Meteorologica (ISSN 0929-1504) verschijnt vier maal per jaar en is een uitgave van de Nederlandse Vereniging van BeroepsMeteorologen (NVBM).

Hoofdredacteur: Leo Kroon
Redactieleden: Wim van den Berg, Aarnout van Delden, Henk van Dorp, Robert Mureau, Heleen ter Pelkwijk.
Administratie: Heleen ter Pelkwijk (pelkwijk@knmi.nl)
Penningmeester: Kees Blom (blom@knmi.nl)
Vormgeving: Rob Stevens
Vermenigvuldiging: CopyProfs, Almelo

Abonnementen:
Alle leden van de NVBM zijn automatisch geabonneerd op Meteorologica. Ook niet-leden kunnen zich abonneren door 23,- Euro voor vier nummers over te maken op Postbank gironummer 626907 ten name van:

NVBM-Meteorologica
Postbus 464
6700 AL Wageningen
onder vermelding van:
- Abonnement Meteorologica
- Uw adres

Abonnementen worden telkens aangegaan voor een heel kalenderjaar; bij tussentijdse betaling worden de reeds verschenen nummers van dat jaar toegestuurd. Voor abonnees in het buitenland zijn de kosten 29,- Euro per jaar. Ook losse nummers kunnen op deze manier worden besteld (zolang de voorraad strekt) voor 8,- Euro per stuk, onder vermelding van de gewenste jaargang en nummer(s). Instellingen betalen 52,- Euro voor een abonnement.

Einde abonnement:
Afgesloten abonnementen worden stilzwijgend per kalenderjaar verlengd. Stopzetting dient schriftelijk te geschieden voor 15 november van het lopende jaar. De mededeling omtrent stopzetting kunt U richten aan NVBM-Meteorologica (adres: zie boven).

Lid worden van de NVBM:
Het lidmaatschap van de NVBM kost 45,- Euro per jaar voor gewone leden en 34,- Euro per jaar voor buitengewone leden. Meer informatie hierover is te vinden op de NVBM website: www.nvbm.nl.



Artikelen uit Meteorologica mogen uitsluitend worden overgenomen na voorafgaande schriftelijke toestemming van de redactie.



Adverteren in Meteorologica is mogelijk. Advertenties worden geplaatst op 3 formaten: A5, A4 of A3.
Uiterste inleverdata voor advertenties zijn: 1 februari, 1 mei, 15 augustus en 1 november voor respectievelijk nummer 1, 2, 3 en 4.
Tarieven kunt u opvragen bij
Leo Kroon
Tel. 0317-482604
e-mail: leo.kroon@wur.nl

Sponsorschap NVBM:
Men kan sponsor worden van de NVBM. Een sponsorschap wordt afgesloten voor minimaal 1 jaar. Een sponsor heeft diverse rechten, o.a.:
- Het plaatsen van advertenties in Meteorologica
- Plaatsing van het firmalogo in het blad.
- Het bijwonen van congressen e.d. georganiseerd door de NVBM.

Voor meer informatie over het sponsorschap kunt u contact opnemen met Leo Kroon (zie boven).

# CaTeC

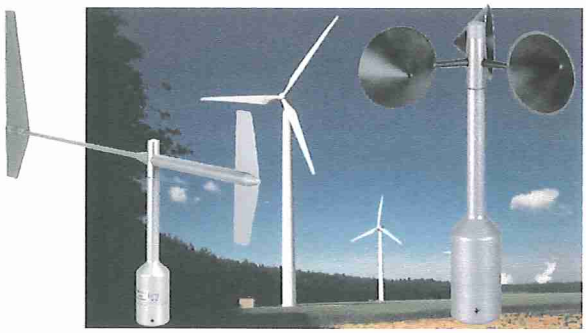
***Professionele meteorologische apparatuur voor windsnelheid, windrichting, vocht, temperatuur, straling, barometrische druk, dauwpunt en neerslag.***

Turfschipper 114 | 2292 JB Wateringen | Tel. 0174 272330 | Fax. 0174 272340 | info@catec.nl | www.catec.nl

**De EE-23 serie vocht & temperatuur transmitters** zijn multifunctioneel, hebben een hoge nauwkeurigheid, eenvoudige montage en service. Optioneel is er een weer- en stralingskap voor meteorologische toepassingen. In corrosieve omgeving kan men gebruik maken van een optionele coating.

**Disdrometer, de optimale neerslagmeter met laser.**
De Disdrometer werkt met een optische laser waarmee nauwkeurig neerslag analyses gemaakt kunnen worden. De sensor detecteert en onderscheidt de **hoeveelheid** verschillende vormen van neerslag zoals: ***motregen, regen, hagel en sneeuw.***

**Ultrasone Anemometer 2Da en compact**
Meet windsnelheid, windrichting en virtuele temperatuur. De 2D leent zich uitstekend voor gebruik in zeeklimaat, proces, lucht en scheepvaart, meteorologie, langs rijkswegen enz. en voldoet aan de WMO eisen.



**Windsnelheid en Windrichting Transmitter**
**"First Class" hoge nauwkeurigheid**

| | |
|---|---|
| Meetbereiken | : 0.3...75 m/s - 0...360° |
| Omgevingstemp. | : -50...+80°C |
| Toepassingen | : Windpark referentie |
| | Meteorologie |
| | Onderzoek |

**Pyranometer GSM 3.3**

| | |
|---|---|
| Meetbereik | : 0-1300 W/m$^2$ |
| Uitgangen | : 0/4-20mA, 0-5/10V |
| Spectraal bereik | : 0.4 - 1.1 µm |
| Omgevingstemp. | : -30...+60°C |
| Toepassingen | : Meteorologie |
| | Glastuinbouw |
| | Verkeer |

**Ultrasone Windmeter 3D**
Meet windsnelheid en windrichting in 3 dimensies X, Y en Z, hoge precisie, digitale en analoge uitgangen.
**Toepassingen :**
✓ Meteorologie ✓ Air monitoring
✓ Klimatologie ✓ Immisie controle
✓ Luchtvaart

**Van stand-alone tot complete systemen**
**Voor meer informatie, prijzen of een gespecificeerde offerte**

**www.catec.nl - info@catec.nl - tel: 0174 272330 - fax: 0174-272340**