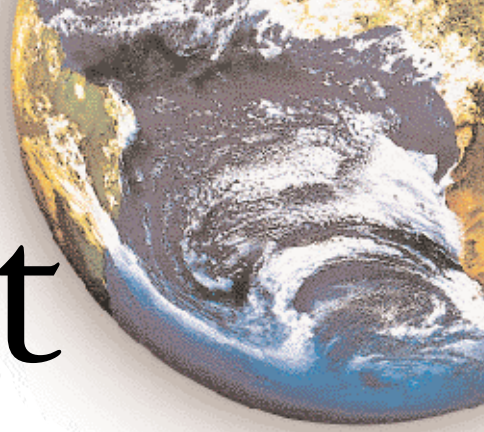




Sol-klima kobling i 12.000 år

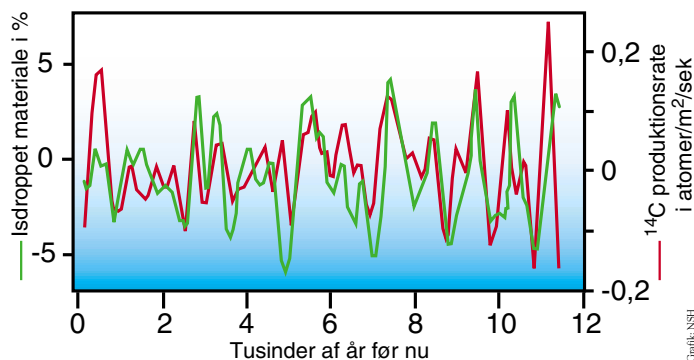
Sol-klima sammenhængen kan spores 12.000 år tilbage.

Solen er drivkraften bag næsten alle processer i atmosfæren. Uden Solen, ville temperaturen ved jordoverfladen kun ligge ca. 20-25 °C over det absolutte nulpunkt på -273,15 °C. Med det i tankerne er det indlysende at selv ganske små variatio-

sig om perioden fra ca. år 1500 og frem til i dag.

Sammenhængen udvides

Nu viser nye resultater publiceret december 2001 i tidsskriftet *Science*, at sammenhængen muligvis kan udvides til de seneste 12.000 år. Artiklen er skrevet af en gruppe ledet af Gerard Bond fra Lamont-Doherty Earth Observatory i New York og baseres på henholdsvis klimadata fra nordatlantiske havbundskerner og solaktivitetsdata fra årringe i træer.



En forenklet grafisk fremstilling af de store datamængder fra Bond-gruppen. Figuren viser henholdsvis klima repræsenteret ved isdroppet materiale (grøn) og solaktivitet repræsenteret ved ^{14}C produktion (rød). Bemærk at den nyeste top i isdroppet materiale falder sammen med det vi i Europa kender som 'Den Lille Istid'.

ner i Solens udstråling kan få alvorlige konsekvenser for Jordens klima. Flere arbejder fra DMI, senest Reichel, Thejll & Lassen 2001, har påvist en statistisk sammenhæng mellem længden af solpletcyklen og temperaturen ved Jordens overflade. Generelt er teorier om en Sol-klima kobling blevet mødt med voldsom skepsis; blandt andet fordi de (fejlagtigt) er blevet taget til indtægt for at ville 'aflive' den menneskeskabte drivhuseffekt. DMI's arbejde med Sol-klima koblingen har koncentreret

Havbund registrerer klima...

Havbundskernerne er fra den del af Nordatlanten hvor man finder det største antal isbjerger i kolde perioder. Disse isbjerger efterlader sig spor på havbunden i form af grus og sand der smelter løs - såkaldt isdroppet materiale. Bond-gruppen har boret sig ned gennem 12.000 års havbundshistorie og dateret perioder med meget isdroppet materiale. Denne serie udgør databasen over varme og kolde perioder.

...og træer solaktivitet

For at få en pålidelig indikator for solaktivitet har Bond og hans gruppe konsulteret målinger af den radioaktive kulstofisotop ^{14}C i træers årringe. ^{14}C dannes som følge af kollision mellem kosmisk stråling og kvælstofatomer i den øvre atmosfære. Når Solen er meget aktiv beskytter dens magnetfelt Jorden mod den kosmiske stråling og produktionen af radioaktivt kulstof falder.

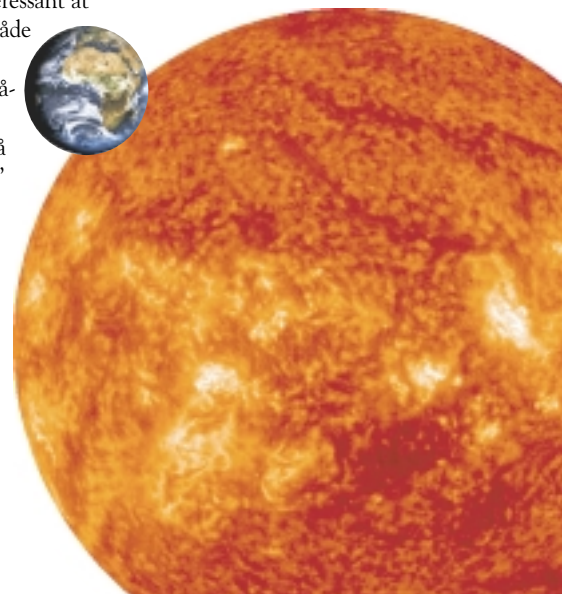
Troværdig korrelation

De to serier har en korrelationskoefficient på omkring 0,5 - hvilket er forholdsvis højt for to uafhængige datasæt fra 'den virkelige verden' - med alt hvad det medfører af støj og usikkerheder. Bonds arbejde betegnes da også af amerikanske kolleger som "meget troværdigt". Peter Thejll, DMI, der til daglig forsker i netop Sol-klima koblingen bemærker: "Resultatet tilfredsstiller den tommefingerregel der siger at man skal have mere end otte udsving for at man kan tro på det - i kortere tidsrækker er det sværere at overbevise nogen om at et sammenfald ikke er en tilfældighed. Det er interessant at det er i det arktiske område man ser effekten. Arktis udpeges tit som det område hvor klimaskift først kan ses - det gælder også påvirkningen fra Solen."

Forstærkning

Noget helt andet er at finde den mekanisme gennem hvilken den varierende solaktivitet påvirker klimaet. De reelle ændringer i Solens udstråling er så små at de ville være

umulige at erkende hvis en eller flere processer i Jordens klimasystem bidrager ved at forstærke effekten. Et godt bud, der nævnes som en mulig 'forstærker' i *Science*-artiklen, kommer fra blandt andre Bo Christiansen, DMI, som forklarer det således: "En dynamisk kobling mellem troposfæren og stratosfæren ser ud til at kunne bringe påvirkningen fra Solen ned til troposfæren fra de lag i den øvre atmosfære hvor Solens variabilitet har en stor direkte strålings-effekt. På DMI arbejdes med denne kobling, både på korte tidsskalaer hvor den kan have betydning for vejrudsigten og på de lange klimatiske tidsskalaer". I en anden fysisk model påvirker Solen med sit magnetfelt den kosmiske stråling, der igen påvirker skydannelsen og hermed temperaturen i Jordens atmosfære. Denne mekanisme blev foreslået af to russiske forskere i 1995, og i 1997 kunne DMI så dokumentere et sammenfald mellem satellitobserveret skydække og intensiteten af den kosmiske stråling i perioden 1980 til 1995.



Ångermanälven som klimaarkiv

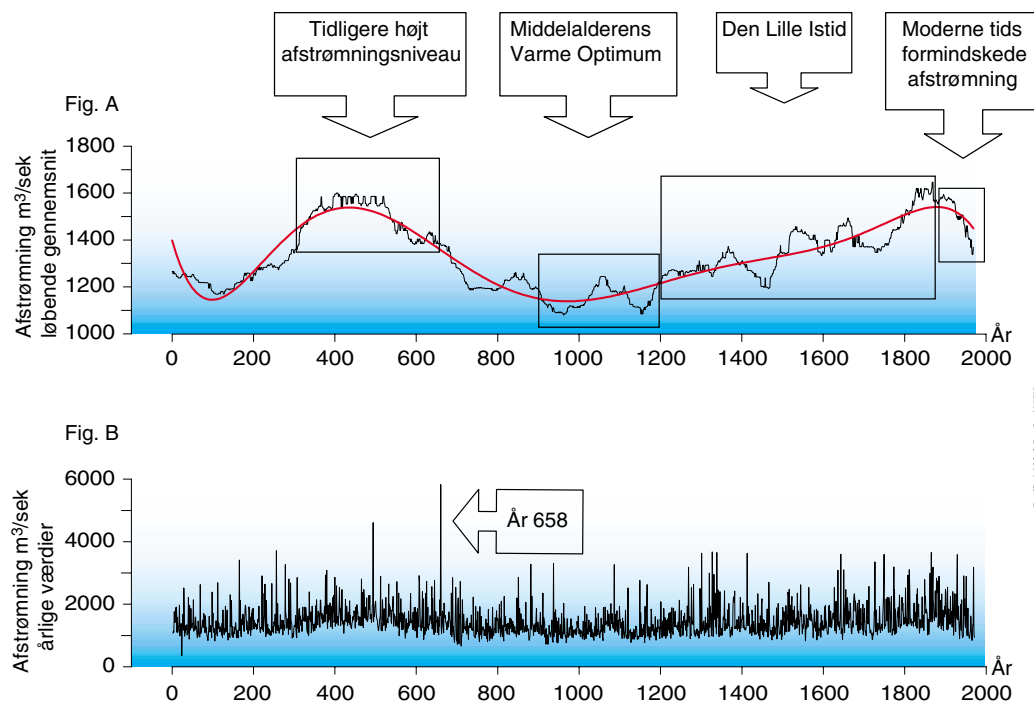
Korrekt adspurgt kan en elv fortælle om fortiden og gisne om fremtiden.

Af: Mikkel Sander
Lunds Universitet

For første gang er det lykkedes at rekonstruere størrelsen af den årlige vårflo for et flodsystem langt ud over perioden med direkte observationer. Vårfloppen er den kraftige stigning i en flods vandføring der finder sted når sneen smelter. Med kendskab til tidligere tiders flomvariationer kan man vurdere risikoen for fremtidige oversvømmelser i et klima under forandring. Rekonstruktionen er baseret på antagelsen om at mængden af materiale (ler og sand) der transporteres i floden er proportional med den vandmasse der gennemløber flodsystemet under vårfloppen. Når variationerne i mængden af materiale der føres med floden er kendt, kan vandmængden udregnes.

Lag på lag - år efter år

I Ångermanälvens delta afsættes der hvert år et lag 'et varv' (fra oldnordisk hvarf der betyder en omgang eller et år). Varv minder på mange måder om årringe i træer. Ved at bore varvene op fra havbunden er det muligt at tælle ned igennem den nære fortid. Tykkelsen af hvert enkelt varv er rela-



A) Løbende gennemsnit (100 år) af den rekonstruerede vårflo vist i Figur B. Kendte klimatiske perioder er indikeret med kasser: Middelalderens Varme Optimum, Den Lille Istid og Nutidens Opvarmning.

B) Årlige værdier af rekonstrueret vårflo. Den højeste vårflo forekom i året 658. Baseret på de seneste 100 år observationer er genkomsttiden for år 658-vårfloppen ca. 10.000 år.

teret til mængden af materiale transporteret i floden under forårets flom hvor afstrømningen er størst. At der hvert år tilføjes et nyt lag muliggør en direkte sammenligning med den observerede vårflo fra samme år. Sammenligningen kan udtrykkes i en matematisk formel der muliggør en rekonstruktion af vårfloppens variation gennem de seneste 2.000 år. Da varv-serien rækker meget langt tilbage i tiden (mere end 8.000 år) kan forholdet mellem varvtykkelse og vårflo anvendes til en kvantitativ fastlæggelse af tidligere tiders variationer i vårfloppens højde.

Klimatisk kontrol

Vårfloppens højde styres af klimatiske forhold i flodens opland. Systematiske variationer i forårets vandføring er altså direkte koblet til lokale klimaændringer. Et højt afstrømningsleje kan skyldes to forhold eller en kombination af disse: mængden af vinternefbør og hastigheden hvormed den smelter om foråret. De sidste 10 års øgede hyppighed af oversvømmelser i især Østeuropa bliver ofte kædet sammen med drivhuseffekten.

Imidlertid forventes det at forhøjet temperatur vil generere færre oversvømmelser i Skandinavien. Computermodellering af vårfloppen viser nemlig at øget temperatur forkorter vinterens længde og dermed begrænser den totale snemængde. Selv når sneen smelter hurtigere, vil hyppigheden og størrelsen af oversvømmelserne aftage fordi snemængden mindskes. Denne generelle udvikling kan ændre sig hvis atmosfæren bliver så varm, at efterårsstormenes nedbør stiger markant. En sådan udvikling er måske allerede på vej; f.eks. fandt tre af de seneste fire oversvømmelser i Ångermanälven sted om efteråret. Den nedgående tendens for vandføringen de sidste 100 år er muligvis



Her ses en borekerne med årlagdelt, varvig, ler som den fra Ångermanälvens delta.

endnu en indikation af den globale opvarmning. Denne teori styrkes af at minimaet omkring år 900-1200 falder sammen med middelalderens varme optimum; altså endnu en indikation af, at et varmere klima resulterer i formindsket afstrømning. Middelalderens varme optimum efterfølges af stigende afstrømning der kan kædes sammen med kuldeperioden Den Lille Istid (Fig. A).

Det Herrens år 658

I den 2000 år lange serie (Fig. B) optræder der et absolut maksimum i år 658. Afstrømningen nåede her op på ca. 6000 m³/sec, hvilket er dobbelt så meget som der nogensinde er målt. Under antagelse af at den observerede periode (1909-1971) følger en kendt statistisk fordeling, kan man anslå sandsynligheden for at vårfloppen når 6000 m³/sec. En sådan analyse viser at en flom som i år 658 kun finder sted hvert 10.000 år.

Mikkel Sander er ph.d.-studerende på Kvantitærgæologiska Avdelningen, Lunds Universitet.
mikkel.sander@geol.lu.se

Klima
Nyt

KlimaNyt udgives af
Danmarks Meteorologiske Institut
Trafikministeriet
Lyngbyvej 100
2100 København Ø
tlf. 3915 7500
Fax: 3927 1080
www.dmi.dk

Ansvarshavende: Lars P. Prahm
Redaktion: Niels Hansen
Tryk: Clichéfa Grafisk A/S
Oplag: 4000
ISSN: 1398 6112
Citater med kildeangivelse.



Påvirker kondensstriber fra fly klimaet?

Om det man ikke lige tænker mest over på vej til Mallorca.

Af: Annette Guldberg, DMI.

Siden 1960'erne er flytrafikken steget med mellem 5 og 9% om året. Det har, især inden for de seneste 5 til 10 år, medført et meget stort behov for at forstå, hvordan flytrafikken påvirker atmosfæren. Den synlige påvirkning fra flyene er de kondensstriber, som under visse betingelser opstår efter flyene. Kondensstriberne dannes hovedsageligt i den øverste del af troposfæren af den vanddamp, der er i flyenes udstødning. Kondensstriberne består af iskrystaller og kan betragtes som kunstige, linieformede skyer.

Drivhusbidrag

I 1999 udgav FN's klimapanel (IPCC) en særberetning om flytrafikens påvirkning af atmosfæren der anslog at flykondensstriber i 1992 dækkede ca. 0,1% af himlen. I områder med tæt flytrafik såsom Europa og Nordamerika var ca. 0,5% dækket, og i de tættest trafikerede dele af disse egne var op til 3-5% af arealet dækket af kondensstriber. Spørgsmålet er, om til-

stedeværelsen af disse kondensstriber påvirker Jordens klima. Kondensstriberne har i gennemsnit den effekt, at de lader det meste af sollyset passere, men er effektive til at tilbageholde varmestråling. De har derfor samme egenskab som drivhuseffekten og er med til at øge drivhuseffekten og dermed øge temperaturen ved jordoverfladen. De såkaldte cirrusskyer, højtliggende tynde skyer, har samme effekt på strålingsbalancen. Af og til ser man, at kondensstriber udvikler sig til egentlige cirrusskyer. Både kondensstriberne og de cirrusskyer, der dannes på grund af flytrafikken, medvirker altså til at øge drivhuseffekten. I IPCC rapporten vurderes det at strålingspåvirkningen fra flyenes kondensstriber i 1992 udgjorde ca. 1,5% af

den samlede påvirkning fra menneskeskabte aktiviteter. 1,5% lyder måske ikke af meget, men dels dækker tallet over store regionale forskelle, og dels er man bekymret for effekten af den forventede fremtidige stigning i flytrafikken.

Svære beregninger

For at forstå hvordan strålingspåvirkningen fra kondensstriber og cirrusskyer influerer på Jordens klima er det nødvendigt at foretage klimamodelberegninger, hvor de processer der er knyttet til kondensstribe- og cirrusdannelsen er indbygget i en global klimamodel. Hidtil er der kun foretaget meget få af den type beregninger. En af de store vanskeligheder ligger i at man i de globale klimamodeller udfører beregningerne i gitter-

punkter, der typisk har en afstand på et par hundrede kilometer, mens dannelsen af kondensstriber foregår på en skala, der er meget mindre. Ved DMI er arbejdet med netop denne type klimamodelberegninger påbegyndt inden for et projekt finansieret af Trafikministeriet. Arbejdet foregår i samarbejde med Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, som er et af de få steder hvor man har udført sådanne beregninger. I DMI-projektet vil der tillige, ved såkaldt mikrofysisk modellering, blive arbejdet med forståelsen af de processer, der fører til dannelsen af en kondensstribe og den videre udvikling til cirrusskyer.

ag@dm.dk

Her ses forskellige stadier i en kondensstribes liv, fra den nydannede (venstre) til den udviklede cirrussky (højre)



Foto: Anne Marie K. Jørgensen

PRUDENCE - nye regionale beregninger

Et nyt stort EU klimaprojekt koordineres fra DMI.

Et nyt stort klimaprojekt under EU's 5. ramme-program har set dagens lys. Projektet hedder PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Ef-

fects) og har 21 partnere fra ni europæiske lande. Jens Hesselbjerg Christensen fra Danmarks Klimacenter ved DMI er koordinator for det nye projekt.

Flyvende start

I dagene fra 3. til 5. december blev projektet kickstartet på konferencecenter Scanticon Comwell Helsingør i Snekersten. Mødet med i alt 60 deltagere - hvoraf ca. ti var fra andre udenlandske institutioner, der ikke er direkte med i projektet - blev en stor succes og dermed en optimal begyndelse, hvor vejen frem mod de fleste af de mange kritiske milepæle i projektet blev banet.

Regionalt fokus

Projektet skal kort beskrevet udarbejde nye og bedre forudsigelser for det fremtidige klima i Europa - et klima under indflydelse af den menneskeskabte drivhuseffekt. PRUDENCE skal blandt andet levere nye koordinerede detaljerede scenario beregninger for fremtidens klima baseret på i alt fire globale og otte regionale klimamodeller. Gennem forskellige beregninger skal disse nye scenarier bruges til at vurdere klimaændringernes konsekvenser for blandt andet industri og offentlighed, der har brug for informationer for at kunne planlægge og handle under de nye betingelser. Der findes ganske

vist allerede fremskrivninger for klimaforandringer på europæisk skala, men de er mangelfulde hvad angår såvel mængden som kvaliteten af regionale detaljer, ikke mindst med hensyn til vurderingen af de tilknyttede usikkerheder. Noget som PRUDENCE skal gøre en indsats for at forbedre.

Følg med på:

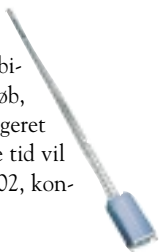
www.dmi.dk/f+u/klima/prudence/

Koordinator Jens Hesselbjerg Christensen:
jhc@dm.dk



Ørsted - 1.000 dage i rummet

Mandag den 19. november 2001, kl. 11.29.55 præcis, fejrede den danske ingeniørbedrift Ørsted sit 1.000 dages jubilæum. Den lille satellit havde da gennemført 14.409 omløb, tilbagelagt mere end fire gange afstanden til Solen og fungeret to en halv gang så længe som forventet. I den kommende tid vil Ørsted, der er sikret finansiering frem til den 23. april 2002, koncentrere sig om udforskningen af magnetiske storme.



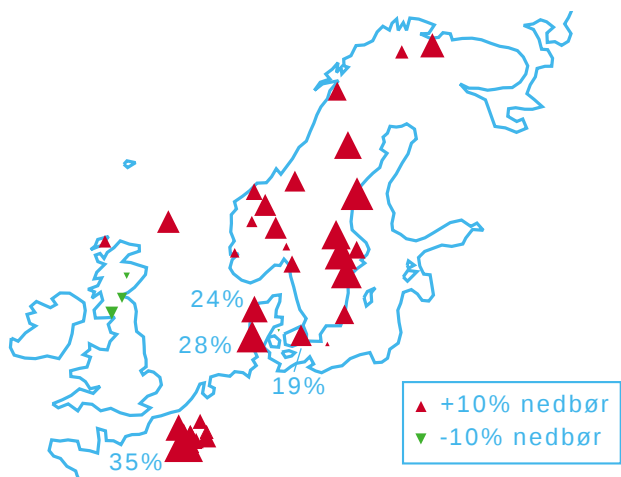
Supermodeller enige om fremtiden

Computermodelerne for Jordens klima er enige om andet og mere end at det globalt set bliver varmere. Der er også mange ligheder på regionalt plan. Det konstaterer forskere fra syv lande som, i en artikel med DMI-deltagelse, har sammenlignet slutningen af det 21. århundrede i ni forskellige 'state-of-the-art' klimamodeller. Når der på trods af de mange forskelle i matematik, statistik og opløsning, er en sådan overensstemmelse, styrker det troen på at klimaforskerne har fat i noget af det rigtige.

Vintrene er blevet vådere

Der falder i dag 10-20% mere nedbør i løbet af en nordvesteuropæisk gennemsnitsvinter end der gjorde for 100 år siden. Det viser en analyse som DMI har udført på grundlag af 40 historiske nedbørserier fra Danmark, Belgien, Storbritannien, Norge og Sverige. Kun halvdelen af denne stigning kan forklares ved atmosfærens naturlige variationer. Det tyder på at selve klimasystemets grundstruktur er under forandring. En mulig forklaring er at atmosfæren på grund af den globale opvarmning indeholder mere vanddamp i dag end i begyndelsen af 1900-tallet.

I tre af de fem danske serier ses kraftigt forøget nedbør siden år 1900: +19% i København, +24% i Vestervig (Thy) og +28% ved Nordby (Fanø). De to øvrige danske serier fra Tranebjerg (Samsø) og Hammerodde (Bornholm) viser stort set uændrede nedbørmængder. Den største forøgelse findes ved Chimay i Belgien der modtager op mod 35% mere nedbør end for 100 år siden.



Graphic: Torben Schmitt / NBI

Ændringer i vinter nedbøren de seneste 100 år. Højden af standard signaturerne svarer til en stigning hhv. et fald på 10%. De danske serier viser: København +19%, Vestervig (Thy) +24%, Nordby (Fanø) +28%, Hammerodde (Bornholm) +4% og Tranebjerg (Samsø) -2%.

Klima Kort



Ozonnedbrydning over Danmark

Forårets ozonnedbrydning på mellembreddegraderne er værst i området omkring Danmark. Det viser satellitmålinger bearbejdet ved DMI og publiceret i det anerkendte videnskabelige tidsskrift Nature den 18. oktober. Det skyldes, at luft fra det arktiske ozonhul i forårsmånederne strømmer ind over Europa og Rusland. For Danmarks vedkommende har forårets ozonnedbrydning fra 1979 til 1997 været ca. 6,5% pr. tiår. Det er ca. 0,8% mere pr. tiår end gennemsnittet langs Danmarks breddegrad.

Det arktiske ozonhul kan blive endnu dybere i fremtiden på grund af den forøgede drivhuseffekt. Når den nedre del af atmosfæren varmes op, afkøles stratosfæren og hermed ozonlaget. Ved lavere temperaturer forøges antallet af polarstratosfæriske skyer, på hvis overflade der dannes klorholdige stoffer som nedbryder ozon.

Forhøjet ekstrem-nedbør

Der er udsigt til en forhøjelse af de ekstreme nedbørværdier i fremtidens Europa og ændringen er særlig stor i Skandinavien. Det viser nye klimamodelberegninger udført ved DMI. I Danmark forventes de ekstreme nedbørværdier i slutningen af det 21. århundrede at være steget 20%; fra ca. 10 til 12 millimeter/døgn. Ændringerne skyldes den globale opvarmning der fører til at hvert enkelt lavtryk kan indeholde mere vanddamp og dermed aflevere en større mængde nedbør.

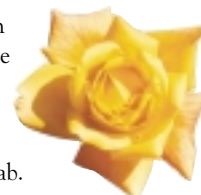
Verdens varmeste oktober

Oktober 2001 blev den varmeste oktober i Danmark siden målingerne startede i 1874. Oktober 2001 satte tillige ny 'verdensrekord' med en global positiv afvigelse på +0,56°C sammenlignet med normalperioden 1961-1990. Den gamle rekord blev sat i 1997 og var på +0,51°C. Temperaturerne var specielt høje over Europa og i troperne.

Planter kan ikke følge med klimaet

Forholdene for verdens flora vil blive drastisk ændret i de kommende årtier til århundrede hvis det går som forudsat i blandt andet DMI's klimaberegninger for FN's klimapanel IPCC. To forskere fra University of Minnesota har vurderet planter tilpasningsevne til en varmere Jord - og udsigterne er dystre. Resultaterne viser at udvalgte tilpasninger der bliver nødvendige indenfor de næste 25 til 35 år, vil tage mellem 21 og 79 år.

At planter og plantebælter ikke blot - som efter en istid - forskydes mod polerne i takt med de stigende temperaturer, skyldes at den enkelte arts udbredelsesområde er brudt op som følge af menneskelig aktivitet. Desuden er potentielle nye voksesteder i vid udstrækning optaget af beplantet kulturlandskab.



Der er mange flere nyheder og temaer på www.dmi.dk/nyt