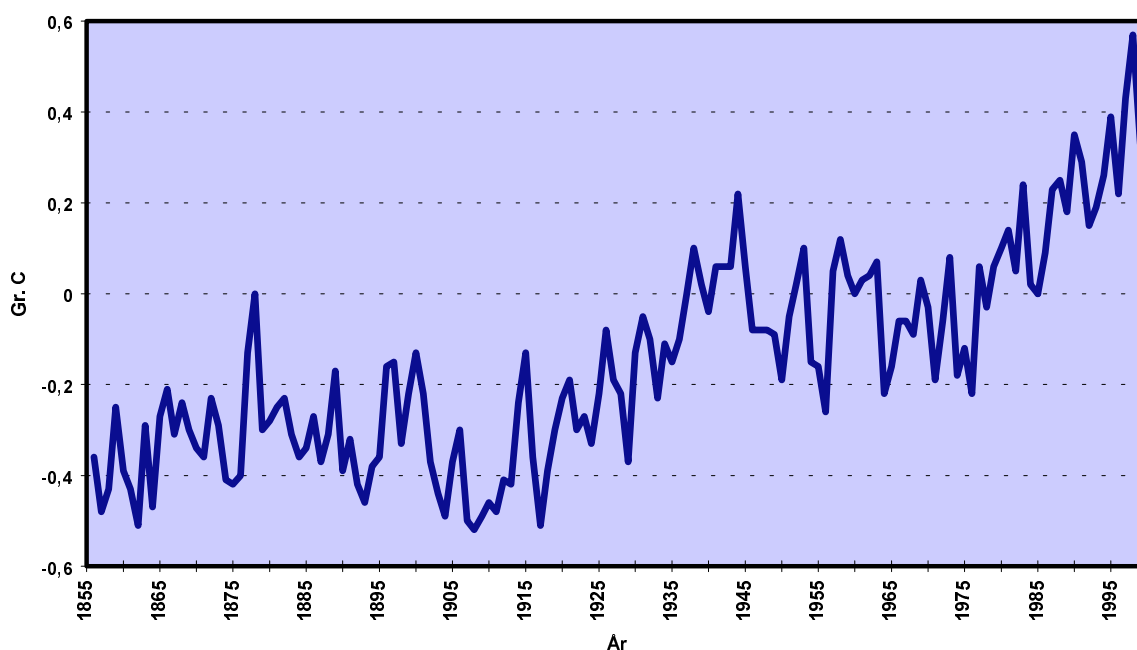


Danmarks Klimacenter

DMI, Trafikministeriet

FORSKNING OG SAMARBEJDE 1998-1999

Global temperatur-anomali, 1856-1999



Forskning og samarbejde 1998-1999

Danmarks Klimacenter, Rapport 00-1

Redaktion: Anne Mette Jørgensen

ISSN: 1398-490-X

ISSN: 1399-1957 (Online)

ISBN: 87-7478-408-0

© Danmarks Meteorologiske Institut, 2000

Danmarks Meteorologiske Institut

Lyngbyvej 100

2100 København Ø

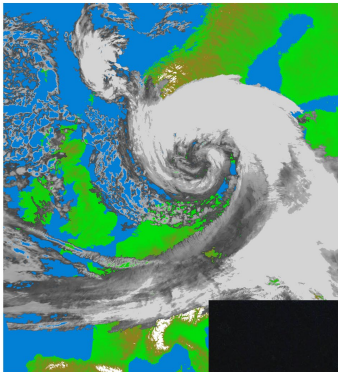
Telefon: 3915 7500

Telefax: 3927 1080

www.dmi.dk

Indhold

Danmarks Klimacenter - Forskning og samarbejde 1998-1999	1
Regionale og globale klimascenarier.....	2
Sæsonprognoser.....	5
Ocean - atmosfære - havis vekselvirkning og den Nordatlantiske Svingning.....	6
Solaktivitet, ozonlag og klima.....	8
Klimaovervågning og ny teknologi.....	13
Klimanormaler og lange tidsserier	15
Referencer	16
Om Danmarks Klimacenter.....	18



Orkanen den 3.-4. december 1999 gav omfattende ødelæggelser i store del af landet, og den vil gå over i historien som den hidtil kraftigste storm over dansk område siden starten af systematiske målinger for mere end 125 år siden. Danmarks Klimacenter forsker bl.a. i, hvordan øget drivhuseffekt kan påvirke stormbælterne i det nordatlantiske område. Da ændringer i temperaturer, skydække, nedbør, luftfugtighed og vindforhold kan få vidtrækkende konsekvenser for natur og samfund, er det vigtigt at vurdere, hvordan den fortsatte udsendelse af drivhusgasser og andre stoffer til atmosfæren kan påvirke fremtidens klima.

Danmarks Klimacenter - Forskning og samarbejde 1998 - 1999

Det er nu godt to år siden, Danmarks Klimacenter blev etableret ved DMI som led i regeringens handlingsplan "Danmark som foregangsland". Hovedformålet med klimacentret er kortlægning af den sandsynlige klimaudvikling i det 21. århundrede samt vurdering af fremtidige klimaændringers indflydelse på levevilkårene i Danmark, Grønland og på Færøerne. Aktiviteterne omfatter udvikling af nye satellitbaserede metoder til overvågning af klimaet og studier af klimaprocesser som sol-klima relationer, drivhuseffekt, ozonens rolle og luft/hav/havis vekselvirkning. Desuden udvikles der forbedrede metoder til udarbejdelse af sæsonprognoser, og der skal beregnes globale og regionale klimascenarier. Centret både styrker klimaaktiviteterne på DMI og medvirker til at øge samarbejdet med forskningsinstitutioner i Danmark og det øvrige Europa. Klimacentret har således indgået en samarbejdsaftale med tilsvarende nordiske centre/programmer om dataudveksling og med Max-Planck-Institut für Meteorologie i Hamburg om modelsamarbejde.

I tilknytning til Danmarks Klimacenter blev "Dansk Klimaforum" oprettet for centrets medarbejdere, nuværende og mulige fremtidige samarbejdspartnere samt interessenter, som ønsker at trække på den faglige ekspertise i dette forum. På Klimaforums årlige workshop præsenteres resultater og drøftes ideer til tværfaglige forskningsprojekter, som skaber ny viden til gavn for samfundet. I Dansk Klimaforum er desuden skabt en platform for en løbende debat om klimaspørgsmål.

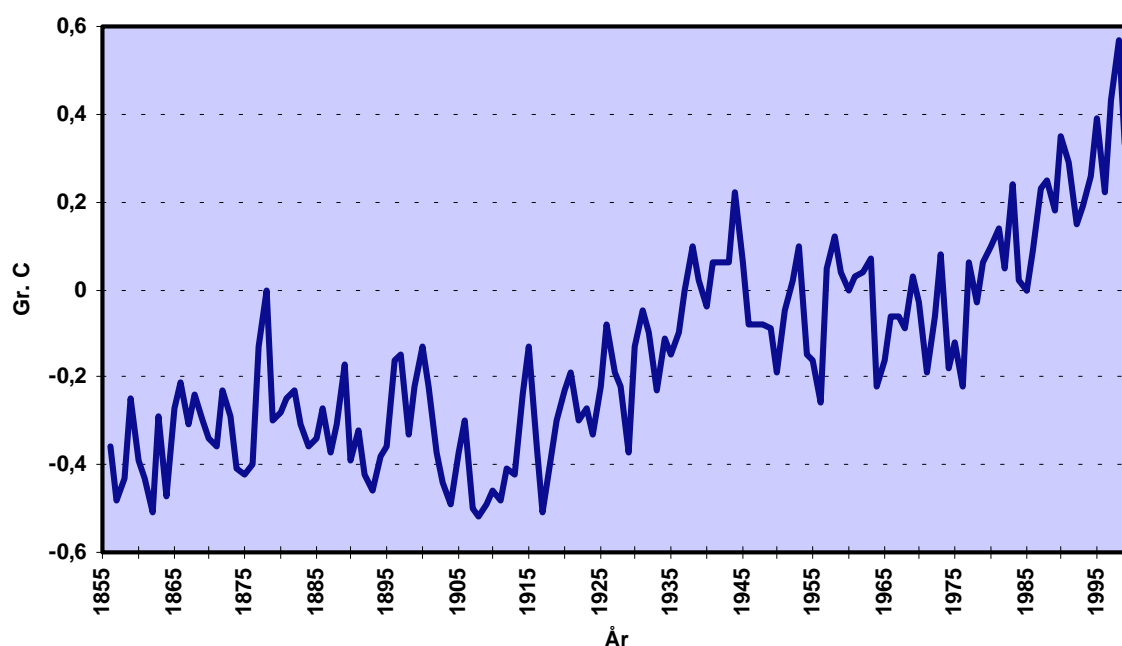
Forskningsresultater fra Danmarks Klimacenter publiceres i internationale videnskabelige tidsskrifter og i faglige rapporter. Klimacentret udgiver desuden et populært nyhedsbrev KlimaNyt og vedligeholder en omfattende hjemmeside med informationer om klima og klimaprojekter. Klimacentret har været refereret hyppigt i både den trykte og elektroniske presse.

I denne rapport beskrives de væsentligste aktiviteter og opnåede resultater ved Klimacentret.

Regionale og globale klimascenarier

Fremtidens klima og den klimatiske betydning af menneskeskabt drivhuseffekt er blandt hovedemnerne for forskningen ved DMI/Danmarks Klimacenter. Forskningen baseres i høj grad på beregninger med og udvikling af globale og regionale klimamodeller (Kaas et al., 1999 og Christensen et al., 1998). Arbejdet foregår i et omfattende internationalt samarbejde, og information om projekterne findes i DMI Technical Report 98-3 samt 99-19. Her præsenteres kun udvalgte resultater, men forskergrupper, som har behov for scenarier for fremtidens klima til brug for f.eks. studier af virkningen af klimaændringer, kan kontakte Klimacentrets sekretariat. Scenarier findes også på www.dmi.dk.

Global temperatur-anomali, 1856-1999



Figur 1.

Den globale temperaturudvikling siden 1856, præsenteret som afvigelsen i forhold til perioden 1961-1990 (kilde: Climate Research Unit på basis af data fra nationale meteorologiske institutter). Det ses, at den gennemsnitlige overfladetemperatur er øget med næsten 1 grad i perioden. For at beregne hvor stor en del af stigningen, der har naturlige årsager og hvor meget, der skyldes menneskeskabt drivhuseffekt, sammenlignes analyser af observerede klimaændringer (både deres udvikling over tid og geografiske og vertikale fordeling) med klimamodelberegninger. FN's klimapanel IPCC anførte i sin 1995-rapport, at det er usandsynligt, at den globale opvarmning kun har naturlige årsager.

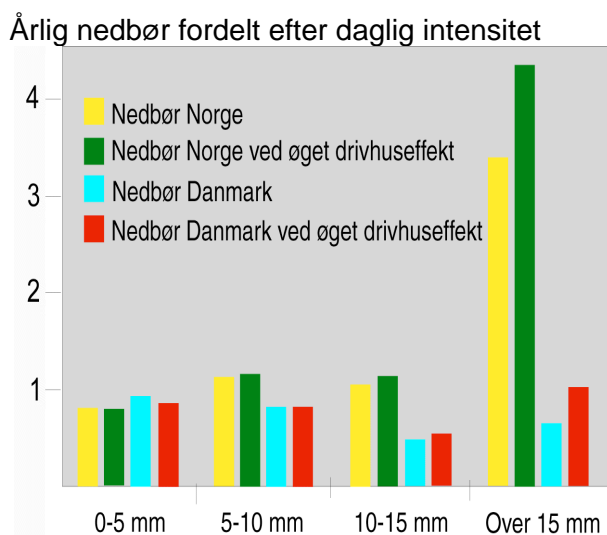
Klimamodeller

Klimamodeller er store, beregningstunge computerprogrammer. På grundlag af fundamentale fysiske love for klimasystemet (atmosfære, ocean, havis og biosfære) samt en række tilnærmelser og empiriske sammenhænge beregnes udviklingen af vejret over lang tid. Klimamodelberegninger forudsiger ikke de enkelte vejrbegebenheder, men forsøger at bestemme, hvor hyppigt bestemte vejrtyper, temperaturer osv. forekommer, og for at begrænse den statistiske usikkerhed på de beregnede hyppigheder skal beregningerne dække meget lange perioder.

Beregningerne foretages i DMI's nuværende klimamodel i et net af punkter over hele kloden med en afstand på ca. 300 km. Med denne opløsning er man i stand til at repræsentere det globale klimasystem i grove træk. Denne opløsning er imidlertid alt for grov til at repræsentere regionale forhold, som skyldes komplicerede land/hav kontraster eller bjergrigt terræn. Hertil kræves detaljerede beregninger med modeller med høj opløsning, enten en regional model, som dækker områder af speciel interesse som f.eks. Danmark eller Grønland, eller en detaljeret global model. På grund af krav til computerressourcer køres de detaljerede modeller kun i en begrænset periode (såkaldt tidsudsnit, se nedenfor).

Regional klimamodel

Med en regional klimamodel har Danmarks Klimacenter udført beregninger af den menneskeskabte drivhuseffekts konsekvenser for Skandinavien omkring midten af det næste århundrede (Machenhauer et al., 1998). Beregningerne er meget detaljerede og giver mulighed for en realistisk vurdering af forskelle på klimaændringer i Nordens forskellige landskabstyper. Detaljeringsgraden medfører endvidere, at ekstreme vejrfænomener nu beskrives mere realistisk end i de globale modeller, som ellers anvendes.



Figur 2.

Nedbørfordeling midt i det 21. århundrede med nuværende koncentration af drivhusgasser i atmosfæren og ved øget drivhuseffekt efter IPCC's mellemste scenario IS92a for udslip af drivhusgasser. På Vestlandet i Norge falder en betydeligt større del af nedbøren i form af kraftige regnskyl end i Danmark. Som figuren viser, øger drivhuseffekten tilsyneladende andelen af kraftig nedbør i Norge, mens hyppigheden af middelkraftig nedbør stort set ikke ændres (se Christensen et al., 1998). Den øgede nedbørintensitet skyldes, at vandindholdet i luften øges, når temperaturen stiger. Når luften fra Norskehavet derefter afkøles over de norske fjelde, fortættes vanddampen til nedbør. Der ses kun små ændringer af nedbørintensiteten i Danmark.

Detaljerede globale klimamodelberegninger

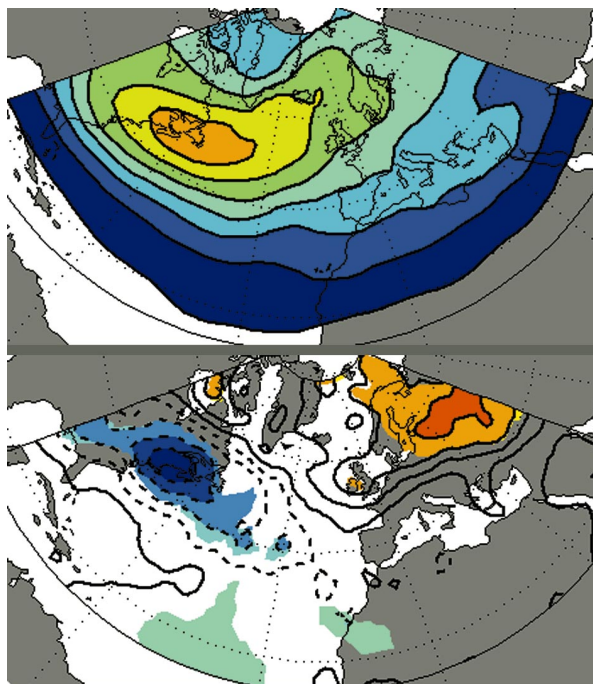
Beregninger med globale klimamodeller har sædvanligvis færre detaljer end de regionale modeller, men i samarbejde med Max-Planck-Institut für Meteorologie i Hamburg er der ved Danmarks Klimacenter gennemført detaljerede globale beregninger med en såkaldt T-106 model (May, 1999). Disse viser, at områderne med kraftig stormaktivitet over Atlanterhavet rykker mod øst i forbindelse med en forøget drivhuseffekt. Det betyder, at Danmark og det øvrige Skandinavien kan forvente en vis stigning i hyppigheden og styrken af storme i løbet af de næste 50 år.

Figur 3.

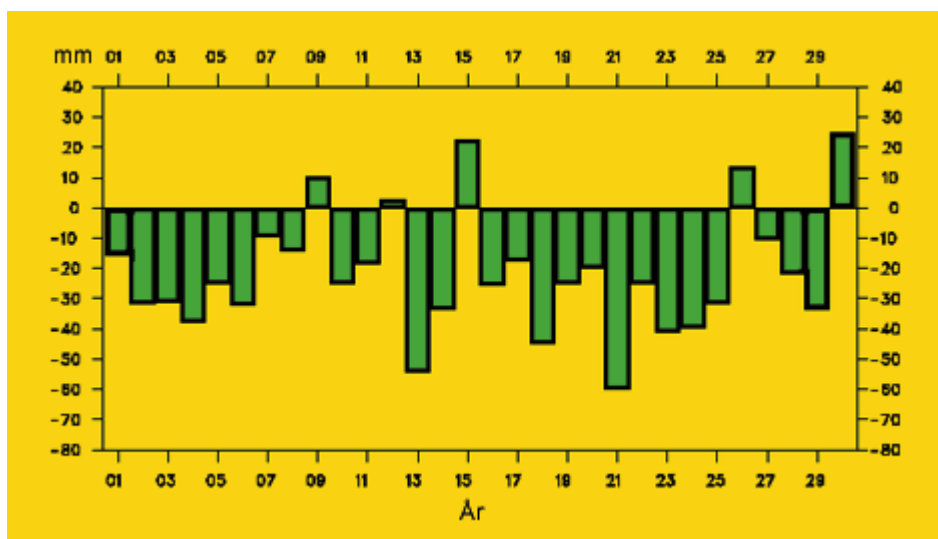
Stormaktivitet over det nordatlantiske område.

Øverst: forholdene ved den nuværende koncentration af drivhusgasser. Den stærkeste stormaktivitet i Nordatlanten observeres ud for den amerikanske østkyst og Sydgrønland, vist med orange farver.

Nederst: den beregnede ændring i aktivitet omkring midten af det 21. århundrede. Orange farver angiver, hvor stormaktiviteten øges, mens blå farver angiver, hvor den svækkes. Lokalt er der tale om ændringer på op til 15%. Beregningerne og betydningen for bølge- og stormflodsaktivitet bliver analyseret nærmere ved Danmarks Klimacenter i det kommende år.



Sahel-Sudanzonen i Vestafrika har en meget stærk nord-syd variation i årlig nedbør. Biotojerne skifter fra skovsavanne til ørken inden for nogle få hundrede kilometer. Derfor har klimavariationer mærkbar effekt på vækstbetingelserne for naturlig vegetation og afgrøder. Detaljeret modellering af klimaforholdene og scenarier for fremtidens klima giver mulighed for at vurdere konsekvenserne af den menneskeskabte drivhuseffekt på trods af områdets kompleksitet. Erfaringerne fra modelleringen over Skandinavien og den globale T-106 model har givet DMI/Danmarks Klimacenter ekspertisen til et sådant arbejde, og der er udarbejdet et projektforslag i samarbejde med Københavns Universitet.



Figur 4.

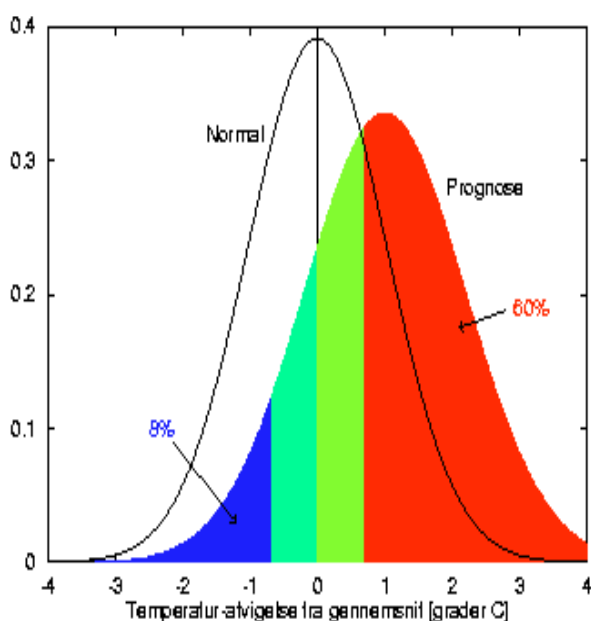
Afvigelser i den samlede årlige nedbør i Nordvestafrika i perioden 2060-2089 beregnet i forhold til middel nedbøren fra 1970-1999.

Sæsonprognoser

De første forsøg med udarbejdelse af sæsonprognoser var baseret på empiriske metoder. Man benyttede mange års observationer af klimaparametre som havtemperaturer, tryk, temperatur og nedbør til at opstille en statistisk model, som kunne bruges til at forudsige sandsynligheden for f.eks. et lunt forår.

Den europæiske forskning omkring klima og sæsonprognoser foregår i udbredt grad igennem fælles internationale projekter, som igennem de sidste ca. 10 år er blevet støttet økonomisk af EU-Kommissionens Miljø- og Klimaforskningsprogrammer. De Europæiske meteorologiske institutter besluttede i 1995 at lade deres fælles regnecenter ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) udnytte forskningsresultaterne og opbygge et operationelt sæsonprognosesystem. Udviklingen er derefter gået meget stærkt, og takket været den forudgående europæiske forskningsindsats er ECMWF's sæsonprognosesystem i dag blandt verdens bedste. Systemet baseres på en koblet atmosfære-ocean klimamodel. En sådan model minder om en vejrprognosemodel, men den beskriver ud over atmosfærens strømninger også verdenshavenes temperatur-, salt- og strømvikling.

DMI forsker i metoder til efterbehandling og fortolkning af de dynamiske modelresultater fra ECMWF. Der arbejdes desuden med en helt ny metode, hvor de dynamiske beregninger gentages med en særlig modelversion. I denne version er der tilføjet empiriske korrektioner til de grundlæggende differentialligninger i modellen. Den korrigerede model har mindre fejl og vil derfor give mere nøjagtige beregninger af, hvordan atmosfæren over store afstande påvirkes af bl.a. havtemperaturerne. Yderligere information: Feddersen, 1999.



Figur 5.

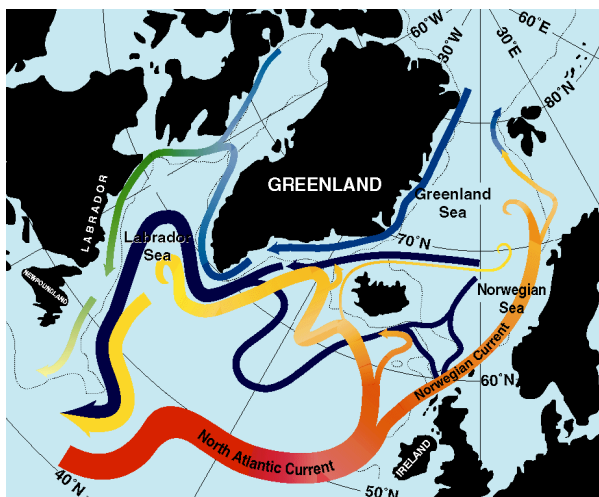
Prognosen for temperaturen i Danmark i marts-maj 1998. Den sorte kurve viser, hvordan temperaturen har fordelt sig omkring gennemsnittet for en 100-års periode. Den farvede kurve viser en såkaldt sandsynlighedstæthed. Grænserne mellem rød og grøn og mellem blå og grøn er valgt til $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Den røde del dækker 60% af arealet under kurven svarende til en sandsynlighed på 60% for at temperaturen i marts-maj bliver mere end $0,7^{\circ}\text{C}$ over gennemsnittet. Tilsvarende er der kun 8% sandsynlighed for, at temperaturen bliver mere end $0,7^{\circ}\text{C}$ under gennemsnittet. Det grønne område ("nær normal") er delt i to. Hvis den højre del slås sammen med den røde, dækker de tilsammen 80% af arealet under kurven, svarende til 80% sandsynlighed for at marts-maj middeltemperaturen i 1998 bliver højere end marts-maj gennemsnittet.

Ocean - atmosfære - havis vekselvirkning og den Nordatlantiske Svingning

Fremtidens klima og Golfstrømmen

Ændres strømforholdene i oceanerne, bliver det på langt sigt måske markant koldere på vore breddegrader, selv om den øgede drivhuseffekt på global skala gør klimaet varmere. Derfor er det vigtigt at finde ud af, om der er en stabil udveksling af vandmasser mellem de kolde, nordlige have og det noget mildere Atlanterhav syd for Island. På trods af mange års intensiv forskning findes i dag kun en overordnet forståelse af de involverede processer. Der er af forskergrupper verden over gennemført flere modelberegninger for at undersøge bl.a., hvordan den Nordatlantiske Strømning og Golfstrømmen ændres som følge af øget drivhuseffekt. De mest realistiske modelberegninger viser ca. 25% reduktion i dybvandsdannelsen i Grønlandshavet nord for Island.

Et stort europæisk projekt, som DMI har deltaget i, har foretaget detaljerede analyser på basis af satellitdata og numerisk modellering. DMI/Danmarks Klimacenter har i samarbejde med Max-Planck-Institut für Meteorologie i Hamburg installeret en koblet atmosfære-ocean-havis model ved Danmarks Klimacenter med henblik på at afdække hvilke ændringer i havenes strømforhold, der kan forventes, samt deres betydning for de danske, grønlandske og færøske klimaforhold.



Figur 6.

Havstrømmene i Nordatlanten har stor betydning for klimaet, ikke kun over det atlantiske område, og der er stor interesse for, hvor stabil den termohaline cirkulation vil være i et fremtidigt klima påvirket af øget drivhuseffekt. For at studere dette er det nødvendigt at benytte en koblet atmosfære-ocean-havis model.

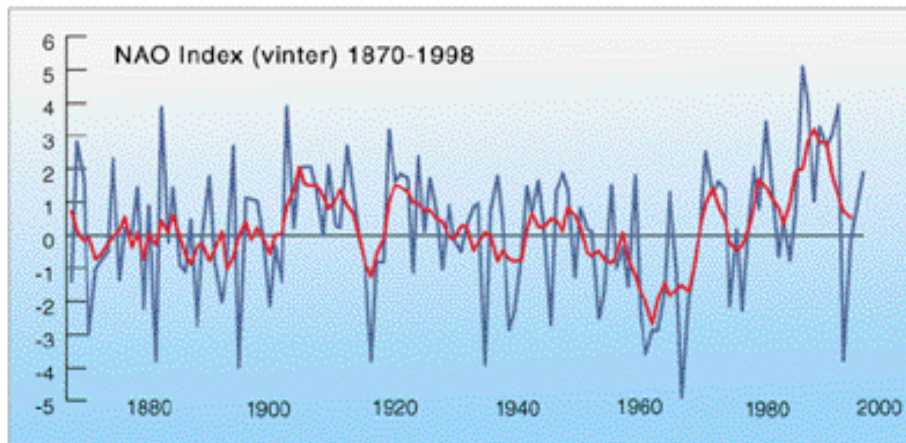
Klimavariabilitet og Nordatlantisk Svingning

Når vinteren er kold i Grønland, er den ofte lun og fugtig i Danmark. Og omvendt betyder en streng vinter i Danmark ofte, at den grønlandske vinter er mildere end normalt. Det observerede Hans Egede Saabye (barnebarn af den berømte biskop Hans Egede) allerede i 1770'erne. Denne sammenhæng mellem vejret i Grønland og Danmark hænger sammen med den Nordatlantiske Svingning (forkortes NAO (North Atlantic Oscillation)).

Luftrykket ved Azorerne og Island varierer i modtakt på en måde, så usædvanligt lavt tryk ved Island ofte ses samtidig med usædvanlig højt tryk ved Azorerne og omvendt. Sammenhængen ses hele året, men er mest udtalt om vinteren. NAO varierer sammen med lokale vejrforhold omkring Nordatlanten, bl.a. lavtryksbaner og vindforhold, og dette påvirker temperatur- og strømningsforhold i oceanet. NAO er således en kompleks vekselvirkning på stor skala mellem atmosfære, ocean og havis.

I det europæiske WASA-projekt har DMI undersøgt sammenhængen mellem NAO og lavtrykshyppighed, og det er vist, at både storme, stormfloder og bølger i høj grad er styret af NAO.

Nye undersøgelser viser, at det er muligt at simulere oceanernes og havisens påvirkning af atmosfærens strømninger. Samtidig antyder beregninger, at der er tale om koblede processer, hvor atmosfære og ocean vekselvirker på delvist forudsigelige måder. Arbejdet er derfor af stor betydning for centrets undersøgelser vedrørende sæsonprognoser og kortfristede klimaprognoser.



Figur 7.

NAO svinger ikke regelmæssigt, men udviser både år-til-år variationer og variationer på længere tidsskala. NAO-indeks beregnes ud fra den normale forskel mellem lufttrykket ved havniveau mellem Azorerne og Island. NAO-indeks er positivt, når trykforskellen er større end normalt og negativt, når den er mindre end normalt.

Solaktivitet, ozonlag og klima

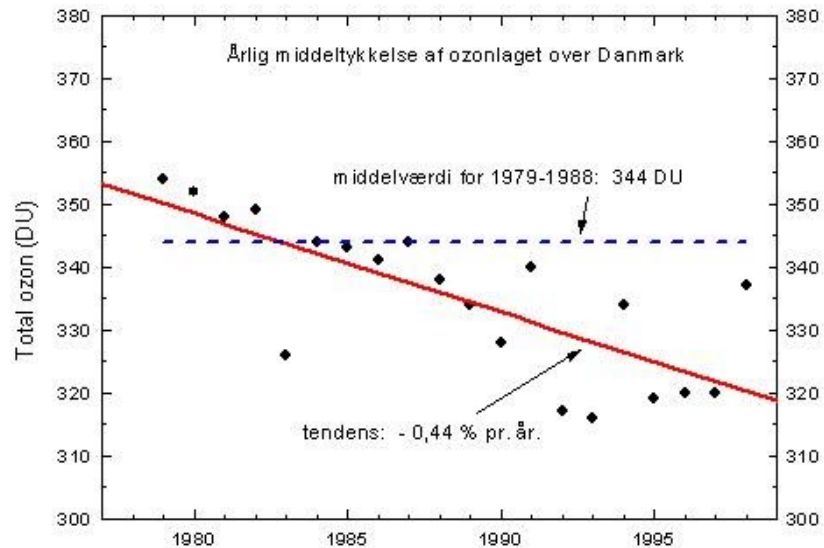
For at kunne skelne mellem naturlige klimavariationer og menneskets påvirkninger er det vigtigt at forstå, hvordan og hvor meget Solens skiftende aktivitet påvirker klimaet.

Undersøgelser ved DMI har vist en tilsyneladende sammenhæng imellem Solens aktivitet udtrykt ved solpletperiodens længde og den nordlige halvkugles temperatur (Friis-Christensen og Lassen, 1991 og Lassen og Friis-Christensen, 1995) helt tilbage til 1500-tallet. Det vides ikke, hvilken form for påvirkning fra Solen, som dette aktivitetsmål repræsenterer. Man kan forestille sig adskillige måder, hvorpå Solen kunne påvirke klimaet - for eksempel er det bredt accepteret, at ændringer i Solens direkte lysudstråling har indflydelse på klimaet, mens det er mere kontroversielt at antage, at solaktiviteten (der også forekommer i form af en varierende strøm af plasma fra Solen, som rammer Jorden og trænger ind i dens atmosfære) har andre indflydelsesmekanismer.

Ændringer i den direkte energiudstråling fra Solen kan måles fra Jorden og fra satellitter. Fra Jorden har det ikke været muligt at finde sikre tegn på variationer i lysudstrålingen - hovedsageligt fordi Jordens atmosfære er uren og skyet og gør det svært at finde nøjagtige mål på Solens udstråling. Fra rummet har man i blot 20 år kunnet måle Solens direkte udstråling og fundet, at der er variationer, som følger solpletcyklussen med en amplitude på ca 0,1%. Teoretiske overvejelser viser, at effekten af en lysvariation af den størrelsesorden kun kan forklare en del af Jordens temperaturstigning over de sidste 150 år, og derfor har der været opstillet forskellige hypoteser om mekanismer, som kunne forstærke virkningen af ændret soludstråling.

Blandt de mulige mekanismer er en sammenhæng mellem skyer og kosmisk stråling. Vor Sol-system, herunder Jorden, skærmes mod den energirige kosmiske stråling af Solens magnetfelt, der varierer i styrke igennem solpletcyklussen. Et studium af satellitbaserede observationer af Jordens skydække har vist, at den totale skymængde har varieret med ca. 3% i takt med den kosmiske stråling og dermed solaktiviteten (Svensmark og Friis-Christensen, 1997). Hvilken konkret fysisk mekanisme, som evt. kunne kæde skydannelsen sammen med mængden af kosmisk stråling, er imidlertid fortsat uafklaret.

Andre mulige mekanismer, som kunne forstærke klimavirkningen af ændret solstråling, går via stratosfæren. Den varierende solaktivitet medfører variationer i stratosfæren, til dels på grund af variationer i UV-delen af solspektret. Det er denne del af strålingen, der indgår i de fotokemiske processer, som kontrollerer balancen mellem skabelsen og destruktions af ozon og dermed tykkelsen af ozonlaget. Det stratosfæriske ozonlags tykkelse påvirker direkte mængden af den stråling, der når troposfæren, og dermed påvirkes troposfærens klima. Det stratosfæriske ozonlags tykkelse er også bestemmende for stratosfærens temperatur, og variationer i UV-strålingen fra Solen vil derfor føre til ændringer i stratosfærens temperaturfordeling samt dens storskalaede cirkulation.

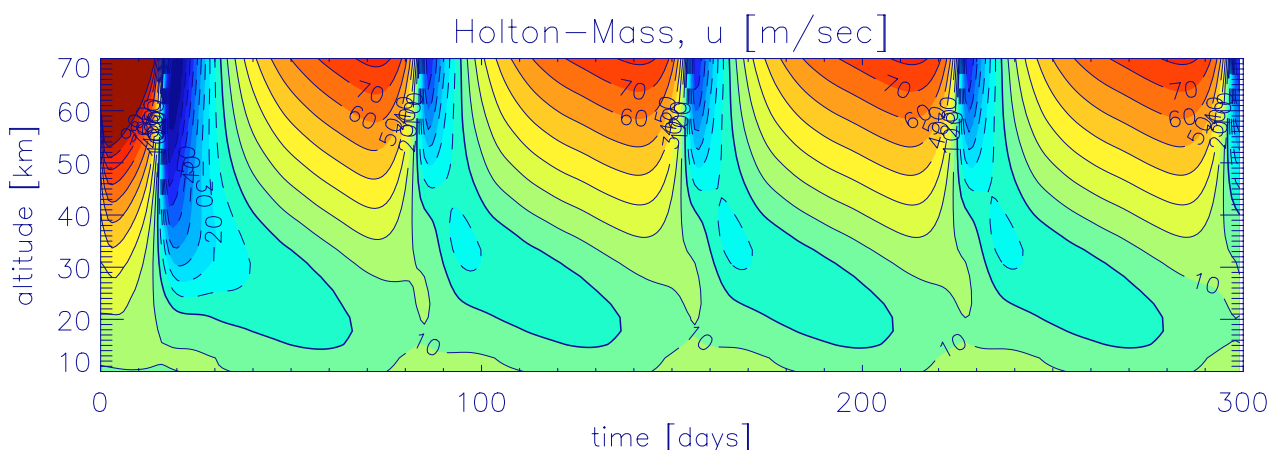


Figur 8.

Ændringer i ozonlagets tykkelse over Danmark 1979-99. Der er en klart faldende tendens, men også store år-til-år variationer, som hænger sammen med variationer i vejrforholdene.

Stratosfæren indeholder kun ca. en tiendedel af atmosfærens samlede masse, så umiddelbart ville man tro, at dens dynamiske indflydelse på troposfæren var lille. Koblede dynamiske processer kan imidlertid føre til en større effekt, og den moderne forståelse er, at forbindelsen mellem stratosfæren og troposfæren går begge veje.

Stratosfæren udviser også variationer på andre tidsskalaer end dekadiske - her kan specielt nævnes de 'sudden warmings', der om vinteren på høje nordlige breddegrader på få dage kan forårsage temperaturstigninger på 10-30°C i stratosfæren. Modelarbejde ved Danmarks Klimacenter skal kortlægge, hvordan variationer i stratosfæren gennem strålingsprocesser og dynamiske mekanismer kan trænge ned i troposfæren.



Figur 9.

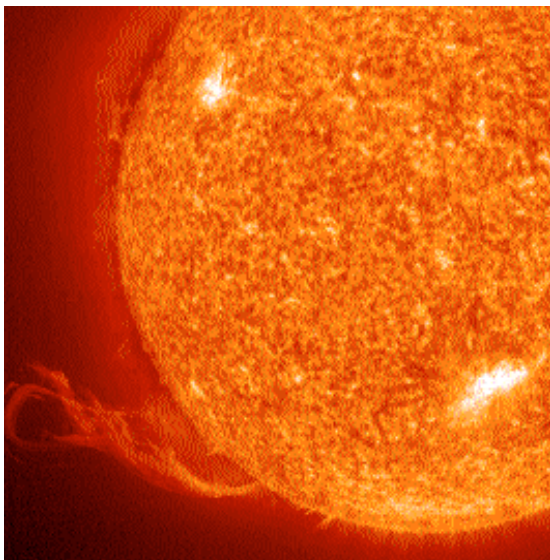
Stratosfæriske "sudden warmings" modelleret med en simpel model. Variationerne gentager sig med ca. 100 dages mellemrum. Røde farver angiver høje vindhastigheder og lave temperaturer, grønne farver lavere vindhastigheder og højere temperaturer.

Hvis man skal kunne tage hensyn til variationer i Solen ved forudsigelse af klimaet og vejrets variationer, bliver det nødvendigt at kunne forudsige Solens variationer - et problem, der ikke er ringere i sværhedsgrad end det at forudsige klimaets ændringer!

På *meget* lange tidsskalaer bliver Solen mere lysstærk - en konstant 0,1% stigning i Solens udstråling forventes efter ca. 10 millioner års udvikling fra nuværende tilstand - altså et tidsrum, der svarer til adskillige istider og betydelige ændringer i kontinenternes positioner med deraf følgende klimaændringer, og den er derfor uden betydning i menneskelig sammenhæng.

På lidt kortere tidsskalaer (tusinder og titusinder af år) undergår Jordens bane om Solen visse ændringer, der skyldes indvirkningen af de andre planeter. Disse ændringer fører til variationer af indstrålingen og menes at være grunden til, at Jorden oplever istider. Selv over et par århundreder er der en vis effekt fra disse baneændringer på klimaet. Disse kan forudsiges, men ligger alligevel så langt ude i fremtiden, at ingen gør det.

På kortere tidsskalaer (hundreder af år) menes Solens udstråling at vise større variationer i sin lysudstråling af grunde, der har med forbigående strukturændringer i Solen at gøre. Disse variationer kan udgøre adskillige tiendedele af en procent og har derfor potentielt stor betydning for den direkte indvirkning på klimaet. Disse ændringer udledes bl.a. af historiske dataserier for solaktivitet og moderne kalibreringer af forholdet imellem soludstråling og solaktivitet. Disse større og længerevarende variationer i Solen er endnu ikke til at forudsige med bestemtthed. Mindre og mere kortvarige variationer i Solens opførsel kan forudsiges med større succes. Solpletcyklussens længde forudsiges med rimelig succes et par år frem ved hjælp af statistiske metoder, og disse giver op til 0,1% variation i den totale energiudstråling, men langt større variation i den ultraviolette del af spektret.



Figur 10.

Solen er en almindelig stjerne, som udviser en smule variabilitet i sin lysstyrke og i den måde, den påvirker sine omgivelser på igennem partikler, der strømmer ud fra overfladen, samt via magnetfeltet. Et af de mest kendte udtryk for Solens variabilitet er solpletterne på overfladen. I det synlige lys er solpletter mørke områder, som er lette at se. Solpletter har været talt og registreret i flere hundrede år, og det er tydeligt, at solplettallet varierer stærkt. Dels med en ca. 11-års periode fra maksimum til næste maksimum, og dels med længere perioder. Årsagerne til denne periodicitet er stort set ukendte.

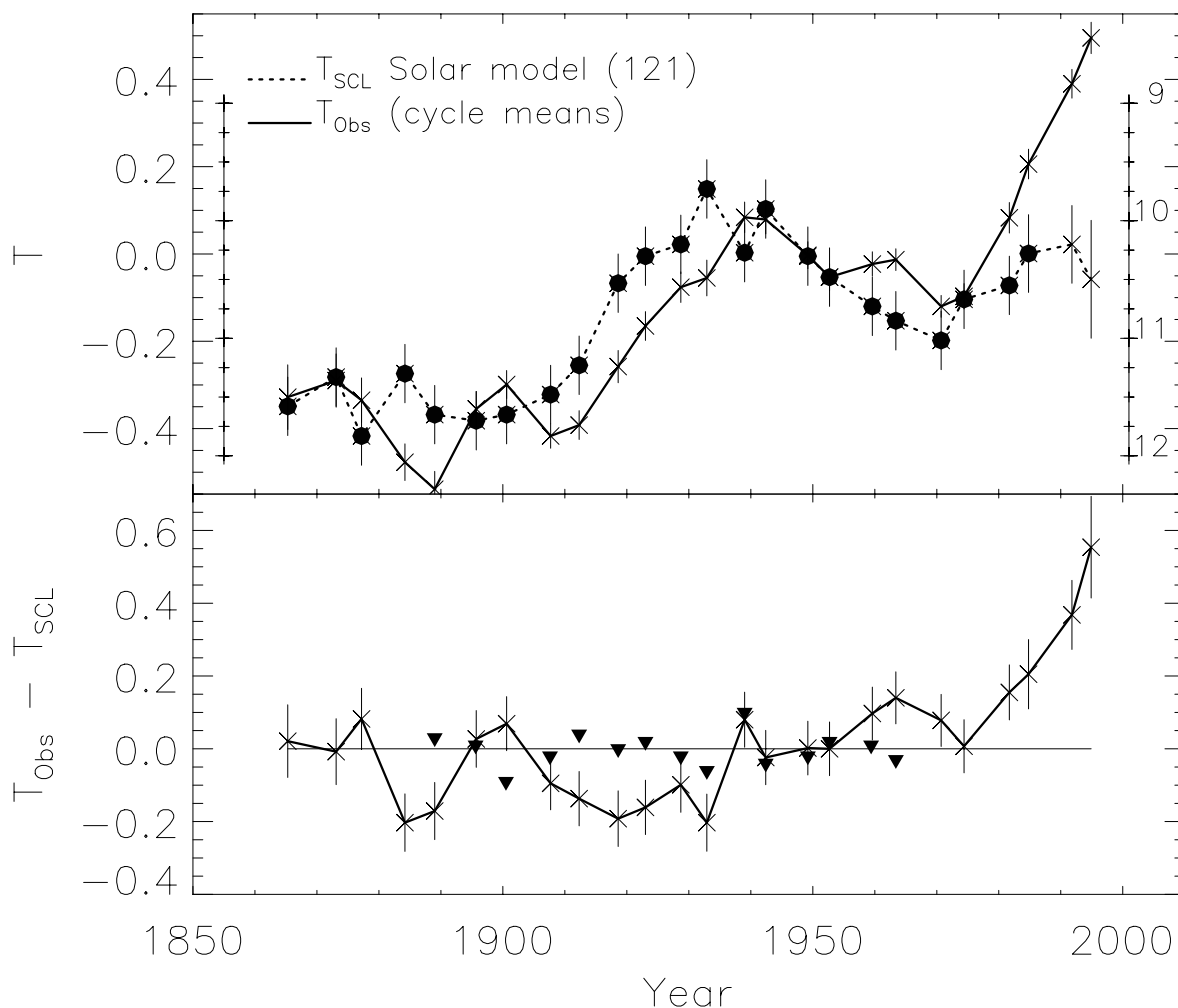
Relationen imellem Jordens temperatur og solcykluslængden, der tidligere er blevet rapporteret af forskere ved DMI, er blevet opdateret, idet der er nye data til rådighed både for Solen og temperaturen.

I 1991 (og med udvidelse i 1995) viste Knud Lassen og Eigil Friis-Christensen som nævnt, at der var en tilsyneladende sammenhæng imellem den udglattede temperatur og solcykluslængden helt tilbage fra 1579. Det påpegede muligheden af, at solcykluslængden er et mål for en eller anden påvirkning, som kommer fra Solen, og som formår at ændre Jordens middeltemperatur. I den igangvæ-

rende debat omkring klimaændringer og deres årsager har dette resultat spillet en vigtig rolle for dem, der ville påpege, at global opvarmning ud fra stigninger i indholdet af drivhusgasser ikke nødvendigvis var den eneste teori, der kunne forklare opvarmningen eller dele af den.

Dominerer drivhuseffekten?

Idet opvarmningen er foregået relativt hurtigt i de sidste årtier, har Lassen og Thejll (1999) opdateret sol-klima studierne med de nyeste data. For at kunne lave en sammenligning af solcykluslængde og temperatur, der dækker det længst mulige tidsinterval, er det desuden valgt at bruge en udglætningsmetode, der benytter et kortere filter i de tidligere undersøgelser.



Figur 11.

Øverst vises, hvordan den nordlige halvkugles temperatur (her midlet i ca. 11 års intervaller) har udviklet sig op til 1990 sammen med den ved lineær regression bedst tilpassede solcykluslængde kurve (her midlet med et udglætningsfilter, der har vægtene 1/4, 2/4, 1/4). Tilpasningsgraden er god helt op til slutningen, hvor der er en divergens imellem kurverne. *Nederst* vises forskellen imellem de to kurver i den øverste del af figuren. Som fyldte trekantede er vist forskellen imellem en anden temperaturkurve og den bedst tilpassede solmodel. Spredningen viser, at det først er hen imod 1970 – 1990, at en usædvanlig stor forskel imellem kurverne forekommer.

De nye kurver viser, at der siden ca. 1970-1990 er forekommet en opvarmning, som går ud over det der kan forklares ud fra solcykluslængde-teorien alene. Hvis solens aktivitet påvirker Jordens klima, er der altså tegn på, at siden i hvert fald 1990 har en anden faktor også været med i spillet. Teori og klimamodelstudier peger på, at stigningen må skyldes den forøgede drivhuseffekt især fra CO₂-forureningen.

Det er ikke muligt at bevise med denne form for korrelationsanalyse, at temperaturvariationer igennem tiden har skyldtes Solen - men der findes heller ingen beviser på, at det ikke skulle være tilfældet. Derfor er det vigtigt fortsat at studere de mulige indvirkninger, Solen har på klimaet. Formålet er at kunne separere forskellige faktorer, der driver klimaets udvikling, for derved bedre at kunne forstå det, man potentielt set kan gøre noget ved - specielt drivhusgaspåvirkningen.



Figur 12.

Nordboruin i Vestgrønland. Den varmeperiode, som tillod Nordboernes kolonisering af Grønland, ophørte i den sene middelalder ved det globale temperaturfald, som kaldes "den lille istid". Nordboerne forsvandt fra landet - antagelig fordi de hverken kulturelt eller landbrugsteknisk formåede at tilpasse sig klimaet. Flere undersøgelser peger på, at solaktiviteten var betydeligt mindre, da den lille istid kulminerede i 1600-tallet, og en del af temperaturstigningen siden da tilskrives øget udstråling fra Solen.

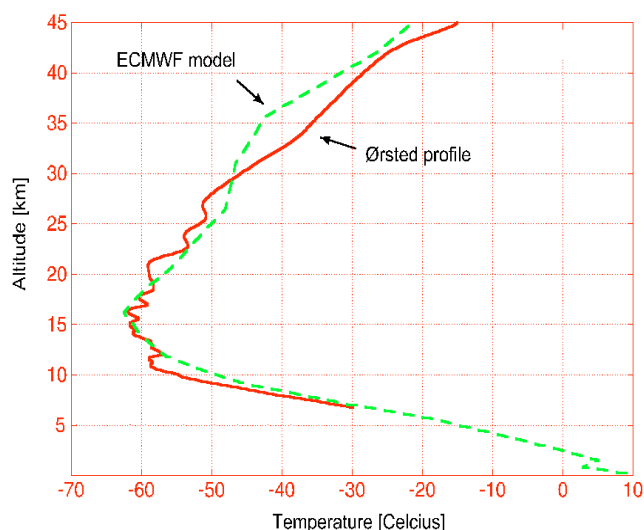
Klimaovervågning og ny teknologi

Kortlægning af fremtidens klima kræver grundigt kendskab til klimaudviklingen og de processer, der styrer klimaet. I dag overvåges klimaet fra Jordbaserede målestationer, bølger og skibe, ballonbårne instrumenter og meteorologiske satellitter. Det er nødvendigt med målinger i hele atmosfæren, også over havområder, hvor der er meget få opsendelser af vejrballoner. Derfor satses der både nationalt og internationalt på øget brug af satellitdata.

Den europæiske meteorologiske satellitorganisation EUMETSAT har igangsat en række aktiviteter, som skal øge nyttiggørelsen af EUMETSAT's nye generationer af satellitter. DMI og Danmarks Klimacenter deltager i tre af de såkaldte Satellite Application Facilities (SAF'er) for henholdsvis

- ozon,
- udnyttelse af de globale navigationssatellitter (GPS) til atmosfæremålinger og
- oceaner og havis.

DMI er udpeget som ledende europæisk center for GPS-satellitmeteorologi. Radiosignaler fra de globale navigationssatellitter GPS kan benyttes til målinger i atmosfæren. Radiosignalerne opfanges af en anden satellit, og ved at måle signalernes afbøjning, når de går gennem atmosfæren, er det muligt at beregne en profil af atmosfærens brydningsindeks, der hvor radiostrålerne er nærmest jorden. Brydningsindekset er relateret til atmosfærens vanddamp, tryk og temperatur, som herefter kan udledes under forskellige forudsætninger. SAF-projektet skal resultere i et operationelt system, som skal være klar til ibrugtagning i 2004, og det ventes at bidrage med værdifulde nye data til brug inden for vejrvarsling og klimastudier.



Figur 13.

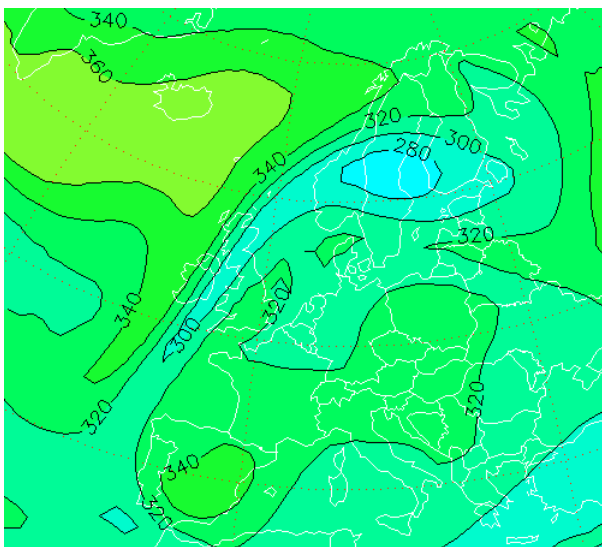
Temperaturprofil fra Ørsted-satellitten. Profilen (rød kurve) sammenlignes med analysen fra det europæiske meteorologiske regnecenter ECMWF fra om-trentligt samme sted (37 S, 151 W) og tid (12:00 UTC). Ørsted-satellitten er den første satellit i Europa med GPS-instrumenter om bord til brug for målinger i atmosfæren.

DMI deltager i SAF'en for ozon, hvor der i et femårigt forskningsprojekt skal udvikles produkter til overvågning af atmosfærens totale ozonindhold, sporgasser, aerosoler og UV-stråling. Disse produkter skal evalueres mod bl.a. jordbaserede målinger fra DMI's ozonspektrometer i Kangerlussuaq.

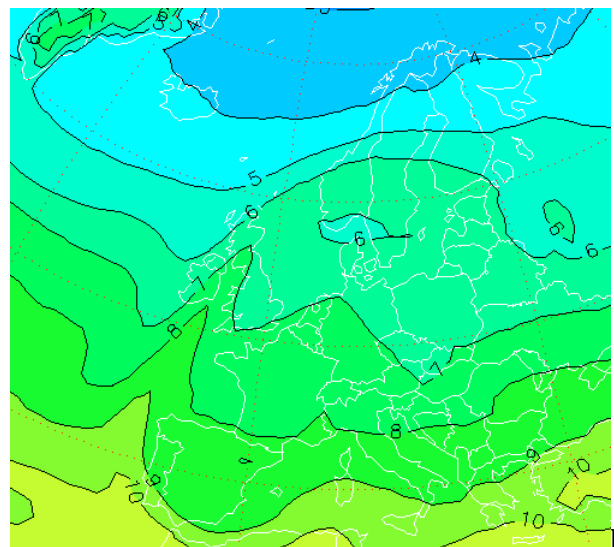


Figur 14.

DMI's ozonspektrometer i Kangerlussuaq. Den hvide kugle på billedet er DMI's antenne til modtagelse af satellitdata.



a)



b)

Figur 15.

Resultater for ozon SAF-projektet.

a) Ozonfordelingen over Europa den 12. juli 1999. Figuren til venstre viser assimilerede satellitdata. En højtryksryg skyder op over Skotland og midt-Skandinavien og giver her anledning til et tyndt ozonlag. Bemærk også et lille område over Nordjylland og Skagerrak med lidt tykkere ozonlag end omgivelserne.

b) Den (hud-) skadelige UV stråling ved lokal middag over Europa den 12. juli 1999 i form af UV Indekset beregnet ved hjælp af en strålingstransportmodel og ozonfordelingen fra a). Ozonfordelingens indflydelse ses tydeligt, især over England, Skandinavien og i Skagerrak.



Figur 16.

'Johan Petersen' i polaris nær Qaqortoq / Julianehåb. Selv om polarisflagerne er små her efter passage af Kap Farvel, er de stadig flere meter tykke og til stor fare for skibsfarten.

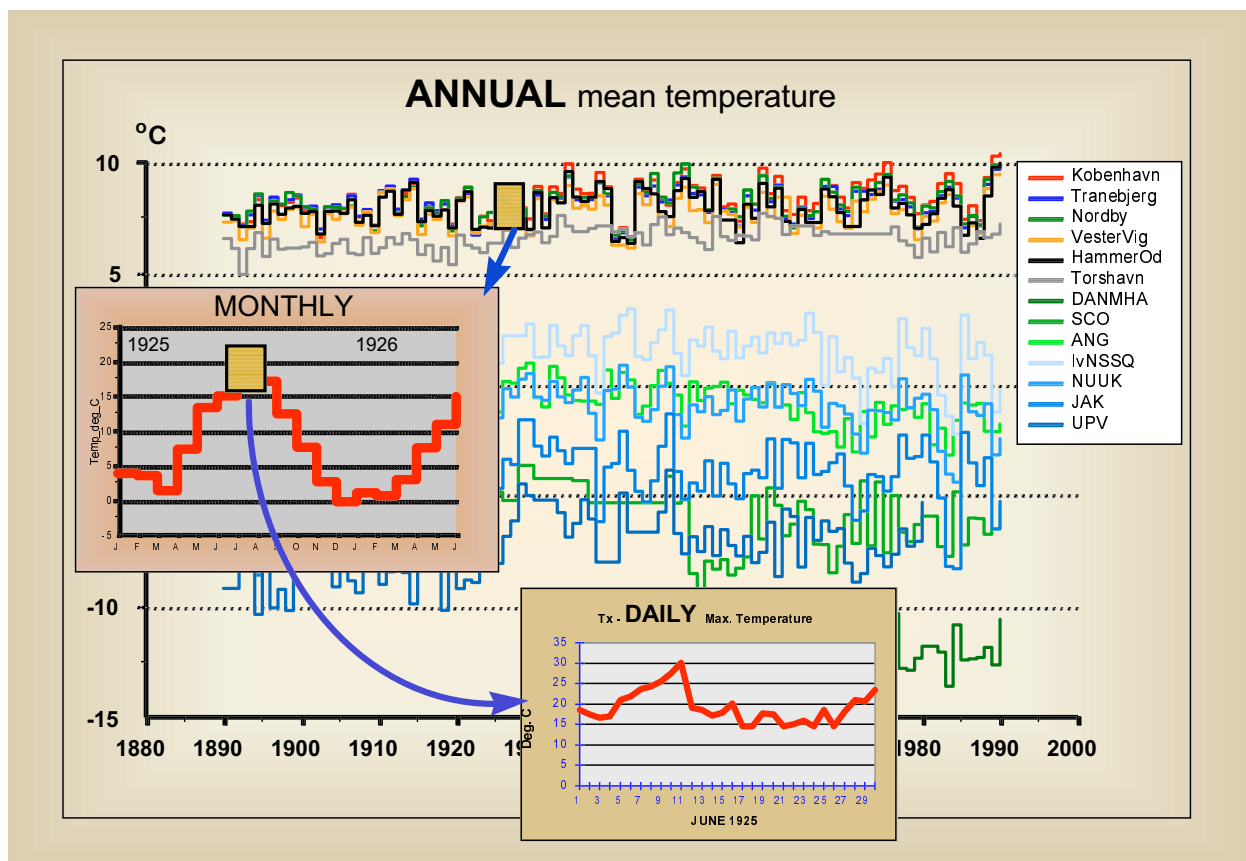
DMI deltager i udviklingen SAF'en for ocean- og havismålinger. Produkterne omfatter vind-, temperatur- og strålingsdata samt data om isdække og istyper i Nordatlanten. DMI deltager med særlig vægt på udvikling af metoder til analyse af havis og overfladetemperaturer omkring Grønland på basis af forskellige nye typer af satellitbaserede målinger.

Klimanormaler og lange tidsserier

Selv om kerneaktiviteterne i Danmarks Klimacenter er koncentrerede omkring forskning i fremtidens klima, har traditionelle klimadata (som f.eks. udviklingen i målt lufttemperatur og nedbør) stadig en betydning, ikke mindst når forskningens bud på fremtidens klimaudvikling skal sammenlignes med nutidens og fortidens klima.

Lange serier af klimadata (om muligt fra 100 år eller længere) og data fra de internationalt vedtagne normalperioder (30 års serier) er blandt de data, klimaforskere internationalt anvender som sammenligningsgrundlag, når udviklingen i klimaet skal beskrives.

I de forløbne to år er der bl.a. som led i Danmarks Klimacenters aktiviteter udarbejdet datasæt og dokumentationsrapporter for 125 års nedbør- og temperaturserier for udvalgte danske lokaliteter samt et omfattende datamateriale for dansk og færøsk klima gennem de seneste 40 år. Samtlige datasæt og tilhørende rapporter (se referencelisten) er stillet til rådighed for ikke-kommercielt brug, herunder klimaforskning og undervisning, via DMI's internetsider på www.dmi.dk.



Figur 17.

Årsmiddeltemperaturer for en række klimastationer i Danmark og Grønland samt på Færøerne.

Referencer

Cappelen, J.: *The Climate of Denmark - Key Climatic Figures 1994-1998*, DMI Technical Report 99-3 (kun online).

Cappelen, J. og E. Vaarby Laursen, 1998: *The Climate of The Faroe Islands - with Climatological Standard Normals, 1961-90*. DMI Technical Report 98-14.

Cappelen, J. og B. Jørgensen, 1999: *Observed Wind Speed and Direction in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90*. DMI Technical Report 99-13.

Christensen, O. B., J. H. Christensen, B. Machenhauer og M. Botzet, 1998: *Very-High-Resolution Regional Climate Simulations over Scandinavia*. *Present Climate, Journal of Climate*, 11, 3204-3229.

Christiansen, B., 1999: *Stratospheric vacillations in a general circulation model*, *J. Atmos. Sci.*, 56, 1858-1872.

Feddersen, H., 1999: *Project on Prediction of climate variations on seasonal to interannual time-scales (PROVOST)*. EU contract ENV4-CT95-0109. DMI Scientific Report 99-1.

Feddersen, H., 1999: *Monthly Temperature Forecasts for Denmark - Statistical or Dynamical?* DMI Scientific Report 99-8.

Frich, P., H. Alexandersson, J. Ashcroft, B. Dahlström, G. R. Demarée, A. Drebs, A. F. van Engelsen, E. J. Førland, I. Hanssen-Bauer, R. Heino, T. Jónsson, K. Jonasson, L. Keegan, P. Ø. Nordli, T. Scmith, P. Steffensen, H. Tuomenvirta, O. E. Tveito, 1996: *North Atlantic Climatological Dataset (NACD Version 1) - Final Report*. DMI Scientific Report 96-1.

Frich, P., S. Rosenørn, H. Madsen og J. Juncher Jensen, 1997: *Observed Precipitation in Denmark 1961-90*. DMI Technical Report 97-8.

Friis-Christensen, E. og K. Lassen, 1991: *Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate*, *Science*, vol. 254, 698-700.

Jørgensen, A. M. (red.), 1999: *Research and Development Projects, Progress 1998*. DMI Technical Report 99-19, 122 pp.

Kaas, E., A. Guldborg, W. May og M. Déqué, 1999: *Using tendency errors to tune the parameterisation of unresolved dynamical scale interactions in atmospheric general circulation models*, *Tellus* 51A, 612-629.

Lassen, K. og E. Friis-Christensen, 1995: *Solar variability during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate*. *Journal Atm. Terr. Phys.*, 57, 835-846.

Machenhauer, B., M. Windelband, M. Botzet, J.H. Christensen, M. Déqué, R.G. Jones, P.M. Ruti og G. Visconti, 1998: *Validation and analysis of regional present-day climate and climate change simulations over Europe*. MPI Report No. 275, 99 pp.

May, W., 1999: *A time-slice experiment with the ECHAM4 A-GCM at high resolution: The experimental design and the assessment of climate change as compared to a greenhouse gas experiment with ECHAM4/OPYC at low resolution. DMI Scientific Report 99-2, 93 pp.*

Schmith, T., H. Alexandersson, K. Iden og H. Tuomenvirta, 1997: *North Atlantic-European Pressure Observations 1868-1995 (WASA Dataset Version 1.0). DMI Technical Report 97-3.*

Svensmark, H. og E. Friis-Christensen, 1997: *Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - A missing link in solar-climate relationships, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 59, 1225-1232.*

Svensmark, H., 1998: *Influence of Cosmic Rays on Earth's climate, Phys. Rev. Lett., 81, 5027-5030.*

Thejll, P. og K. Lassen, 1999: *Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data. DMI Scientific Report 99-9.*

Vaarby Laursen, E. og J. Cappelen, 1998: *Observed Hours of Bright Sunshine in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. DMI Technical Report 98-4.*

Vaarby Laursen, E., R. Sjølin Thomsen og J. Cappelen, 1999: *Observed Air Temperature, Humidity, Pressure, Cloud Cover and Weather in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. DMI Technical Report 99-5.*

Vaarby Laursen, E., J. Larsen, K. Rajakumar, J. Cappelen og T. Schmith, 1999: *Observed Daily Precipitation and Temperature from Six Danish Sites, 1874-1998. DMI Technical Report 99-20.*

Danmarks Klimacenter

Danmarks Klimacenter blev oprettet ved Danmarks Meteorologiske Institut i 1998. Centrets hovedformål er at kortlægge den sandsynlige klimaudvikling i det 21. århundrede - globalt og i Danmark - herunder fremtidige klimaændringers indflydelse på de danske, grønlandske og færøske samfund.

Klimacentrets aktiviteter omfatter udvikling af nye og forbedrede metoder til satellitbaseret klimaovervågning, studier af klimaprocesser (inklusive sol-klima relationer, drivhuseffekt, ozonens rolle og luft/hav/havis vekselvirkning), udvikling af globale og regionale klimamodeller, sæsonprognoser samt udarbejdelse af globale og regionale klimascenarier til effektstudier.

Klimacentret er organiseret med et sekretariat i DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling og koordineres af forskningschefen.

Klimacentret har etableret Dansk Klimaforum, som er et forum til udveksling af resultater og viden og til drøftelse af klimaspørgsmål. I Klimaforum afholdes temadage og workshops med deltagelse af klimaforskere og andre, der har interesse i centrets aktiviteter.

Centret udgiver et populært nyhedsbrev, KlimaNyt, som udkommer 4 gange årligt. KlimaNyt kan også ses på www.dmi.dk.

DMI har udført klimaovervågning og forskning siden oprettelsen i 1872 - og oprettelsen af Danmarks Klimacenter har styrket både klimaforskningen på DMI og samarbejdet med forskningsinstitutioner i Danmark og det øvrige Europa.

Tidligere rapporter fra Danmarks Klimacenter:

- Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998. (Åbning af Danmarks Klimacenter, Referater fra workshop, Resumé af præsentationer). *Danmarks Klimacenter, Rapport 98-1.*
- Danish Climate Day 1999. *Climate Centre Report 99-1.*
- Dansk Klimaforum 12. april 1999. Workshop: Klimatisk variabilitet i Nordatlanten på tidsskalaer fra årtier til århundreder. *Danmarks Klimacenter, Rapport 99-2.*
- Luftfart og den globale atmosfære, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport 'Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policymakers'. *Danmarks Klimacenter, Rapport 99-3.*