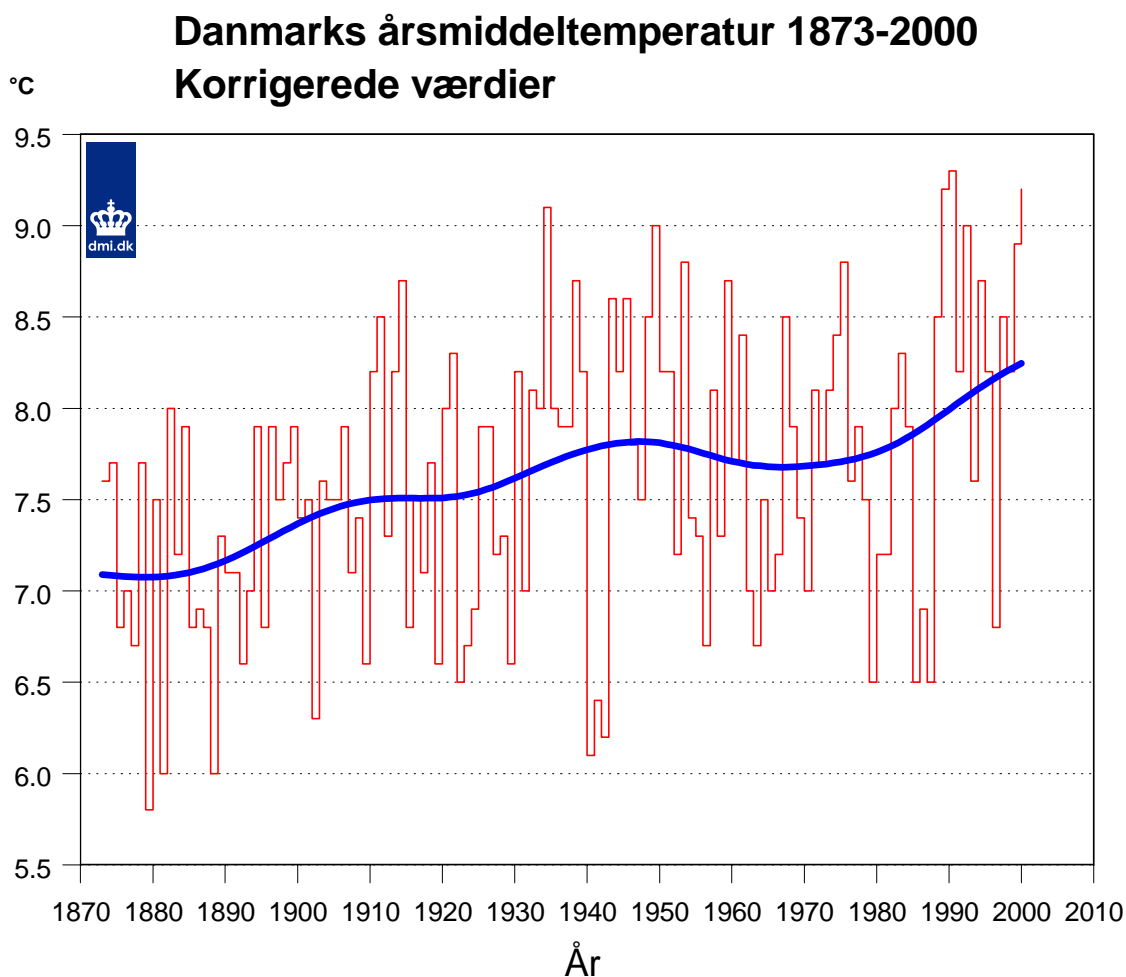


Danmark, Færøernes og Grønlands Klima

DMI's afrapportering til FN's Klimakonvention UNFCCC



Danmark, Færøernes og Grønlands Klima **DMI's afrapportering til FN's Klimakonvention UNFCCC**

Danmarks Klimacenter, Rapport 01-4

Forfattere: Anne Mette K. Jørgensen
Erik Buch
Erik Bødtker
John Cappelen
Bo Christiansen
Eigil Kaas
Niels Larsen
Lillian Wester-Andersen

ISSN: 1398-490-x (print)
ISSN: 1399-1957 (online)
ISBN: 87-7478-441-2

© Danmarks Meteorologiske Institut, 2001

Danmarks Meteorologiske Institut
Lyngbyvej 100
2100 København Ø
Danmark
Telefon: 39 15 75 00
Fax: 39 27 10 80
www.dmi.dk

Forsideillustration: Danmarks årsmiddeltemperatur 1873 – 2000

Indholdsfortegnelse

| | |
|--|-----------|
| Introduktion | 1 |
| Kap. 1 Det danske vejr | 1 |
| Lufttryksforhold..... | 2 |
| Temperaturforhold..... | 2 |
| Nedbørforhold..... | 3 |
| Soltimer og skydække..... | 4 |
| Vindforhold..... | 5 |
| Kap. 2 Det færøske vejr | 5 |
| Lufttryksforhold..... | 6 |
| Temperaturforhold..... | 6 |
| Nedbørsforhold | 6 |
| Soltimer og skydække..... | 7 |
| Relativ luftfugtighed..... | 7 |
| Vindforhold..... | 7 |
| Kap. 3 Vejr og klima i og omkring Grønland | 7 |
| Lufttryksforhold..... | 8 |
| Vindforhold..... | 8 |
| Temperaturforhold..... | 9 |
| Tåge sommer og vinter | 12 |
| Nedbør | 12 |
| Skydækkeforhold..... | 13 |
| Soltimer | 13 |
| Kap. 4 Fremtidens klima | 13 |
| Fremtidige klimaændringer i Danmark | 14 |
| Fremtidige klimaændringer i Grønland | 14 |
| Fremtidige klimaændringer på Færøerne..... | 14 |
| Kap. 5 Klimaforskning | 14 |
| Klimaprocesser og -studier | 15 |
| Klimamodellering og fremtidens klima..... | 16 |
| Kap. 6 Systematiske klimaobservationer | 17 |
| Atmosfæriske klimaobservationer | 17 |
| Overfladeobservationsnettet | 18 |
| Radiosondenettet..... | 19 |
| Vejrradarnettet | 19 |
| Isobservationer..... | 19 |
| Stratosfæreobservationer | 20 |
| Oceanografiske klimaobservationer | 24 |
| Udviklingsbistand til opretholdelse af observationssystemer..... | 24 |
| Kap. 7 Uddannelse og formidling | 24 |
| Uddannelses- og efteruddannelsesprogrammer | 24 |
| Klimainformation | 25 |
| Dansk deltagelse i internationale klimaaktiviteter | 25 |
| Internationale samarbejdspartnere..... | 25 |
| Referencer | 25 |
| Om DANMARKS KLIMACENTER | 27 |

Introduktion

De lande, som har tilsluttet sig FN's Klimakonvention UNFCCC, skal regelmæssigt rapportere til Klimakonventionens sekretariat om bl.a. klimaudviklingen, udviklingen i udslip af drivhusgasser, politikker til at begrænse udslip samt klimaforskning og –overvågning. Danmark har rapporteret i 1994 og 1997, og der rapporteres igen i november 2001. DMI har bidraget til udarbejdelsen af de to første rapporter, som blev koordineret af Miljøstyrelsen, og instituttet bidrager ligeledes til den tredje nationale rapportering, som koordineres af Energistyrelsen.

Den tredje rapport følger de retningslinjer, som er vedtaget af Klimakonventionens parter i 1997. DMI har bidraget med følgende:

- klimabeskrivelser for Danmark, Grønland og Færøerne;
- scenarier for fremtidige klimaændringer for Danmark, Grønland og Færøerne;
- beskrivelse af instituttets systematiske vejr-/klimaovervågning, oceanografiske målinger samt ozonovervågning (uddybes i en særskilt engelsksproget rapport);
- beskrivelse af klimastudier og –modelaktiviteter samt klimarelaterede oceanografiske forskningsaktiviteter;
- beskrivelse af instituttets uddannelses- og formidlingsaktiviteter.

For at styrke formidlingen af viden om klima og klimaændringer er DMI's bidrag til den samlede danske rapportering til UNFCCC samlet i denne Klimacenterrapport, som er tilgængelig på www.dmi.dk.

1. Det danske vejr

Danmark består af halvøen Jylland og mere end 400 øer. Landet er beliggende på ca. 55° N og 11° Ø. Det er lavt, kystlinien er lang og indskåret, og landets areal er 43.075 km². Landet er så at sige beliggende mellem hav og kontinent.

Det danske vejr må karakteriseres som tempereret med regn jævnt fordelt over året, og vejret er meget omskifteligt (se fx Cappelen og Laursen, 2000). Danmark ligger i vestenvindsbæltet, som er karakteriseret af fronter og lavtryk og omskifteligt vejr. Samtidig bor vi på kanten af det europæiske kontinent, hvor der er kolde vintre og varme somre. Sammenlignet med andre geografiske områder, der ligger på samme breddegrad som Danmark, har vi et relativt varmt klima. Det skyldes den varme Nordatlantiske Strøm, der har sin oprindelse i Golfstrømmen i det tropiske hav ud for USA's østkyst. Til sammenligning ligger vi på samme breddegrad som Hudsonbugten i Canada og Sibirien i Rusland, områder, der på grund af de korte somre og meget kolde vintre, er næsten ubeboelige.

Danmark har som nævnt et udpræget kystklima med mildt og fugtigt vejr om vinteren og køligt og ustadigt vejr om sommeren, og de gennemsnitlige temperaturer varierer fra ca. ½ grad om vinteren til ca. 15 grader i gennemsnit om sommeren. Vejret i Danmark er dog stærkt påvirket af nærheden til såvel havet som kontinentet. Det betyder, at vejret veksler afhængigt af den dominerende vindretning. Vestenvinden fra havet er præget af et relativt ensartet vejr sommer og vinter: Mildt om vinteren, køligt om sommeren, altid med vekslende skydække og ofte med regn eller byger. Kommer vinden fra syd eller øst, vil vejret i Danmark mere ligne det, der findes over

kontinentet: Varmt og solrigt om sommeren og koldt om vinteren. Når det danske vejr skal beskrives, er vindretningen og årstiden altså nogle af de helt afgørende faktorer.

Luftryksforhold

De gennemsnitlige luftryk i Danmark udviser en sæsonvariation med et minimum i november og maksimum i maj.

23. januar 1907 registreredes det højste luftryk i Danmark med 1062,5 hPa i Skagen, mens der blot en måned senere blev målt det laveste luftryk i Danmark - også i Skagen - den 20. februar, da instrumentet viste 943,9 hPa.

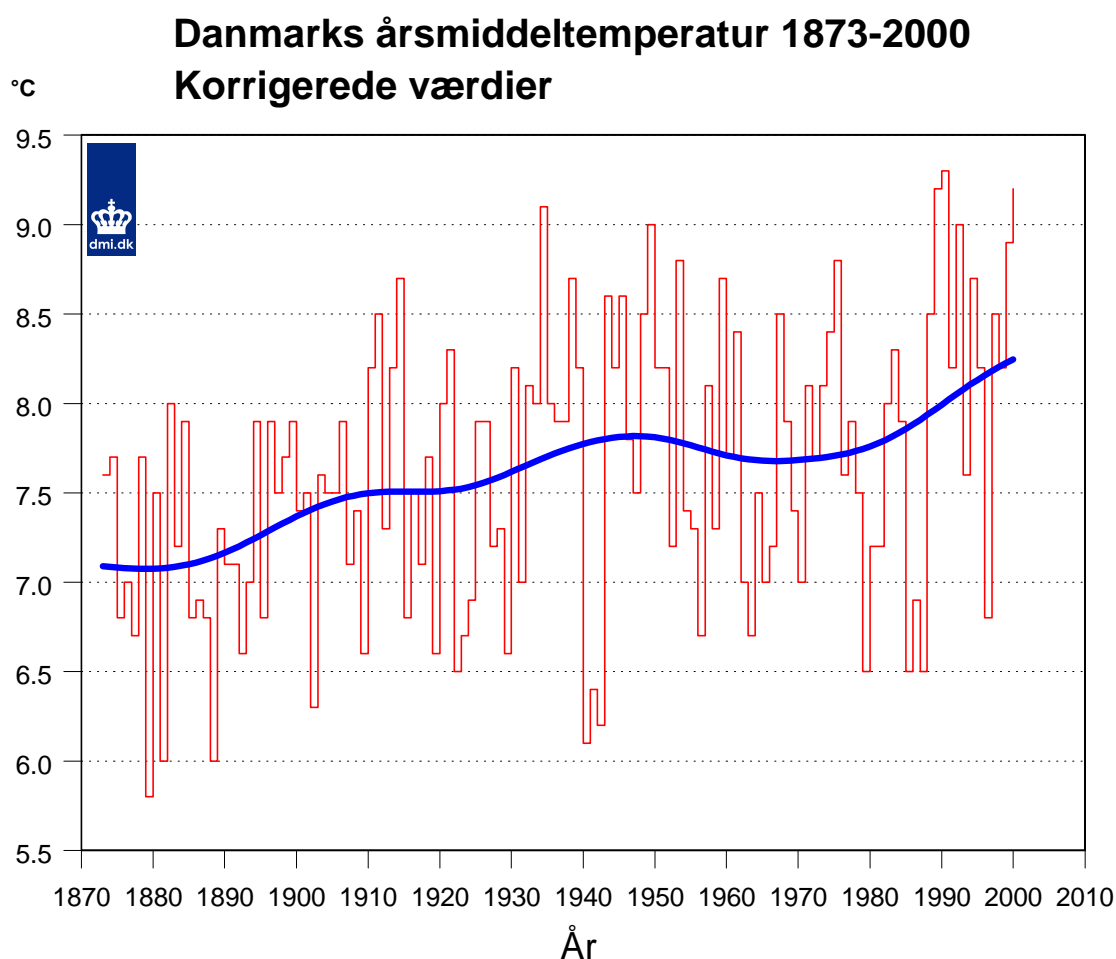


Fig. 1 Danmarks årsmiddeltemperatur 1873-2000

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Den fede kurve er 9 års Gauss-filtrede værdier. I 1957 ændredes stationsgrundlaget, således at en korrektion af årsværdier før 1957 blev nødvendig.

Temperaturforhold

Den gennemsnitlige årstemperatur for landet som helhed er 7,7 °C, varierende fra 7,4 i det midterste af Jylland til 8,4 °C ved nogle kyster. Årsmiddeltemperaturen varierer fra år til år, fra under 6 °C til over 9 °C. Det hidtil koldeste var i 1879: 5,9 °C, og det hidtil varmeste år registreret er 1990 med 9,3 °C. Faktisk har næsten alle år siden 1988 været varmere end normalt, og landstemperaturen har da også vist en kraftigt stigende tendens i 90'erne. Set over de sidste

100 år er temperaturen i Danmark steget med ca. 0,5 °C, men de 10 varmeste år er spredt fra 30'erne til 90'erne.

Temperaturerne i januar og februar ligger i gennemsnit omkring 0 grader for månederne som helhed, men kan variere meget: fra 12 plusgrader til under 31 minusgrader. Temperaturerne i juli og august ligger i gennemsnit omkring 17 °C, men kan variere fra under 3 minusgrader til over 36 °C. Den højeste temperatur målt i Danmark er fra 10. august 1975: 36,4 °C ved Holstebro. Den laveste er fra 8. februar 1982, hvor der ved Hørsted i Thy blev registreret -31,2 °C.

Nedbørsforhold

Den gennemsnitlige årlige landsnedbør er 712 mm, men varierer meget fra år til år og fra sted til sted. Gennemsnitlig regner det mest i Midtjylland med over 900 mm og mindst i Kattegat og ved Bornholm: ca. 500 mm. Den mindste årsnedbør for landet som helhed var 464 mm i 1947, og den højeste var 905 mm i 1999.

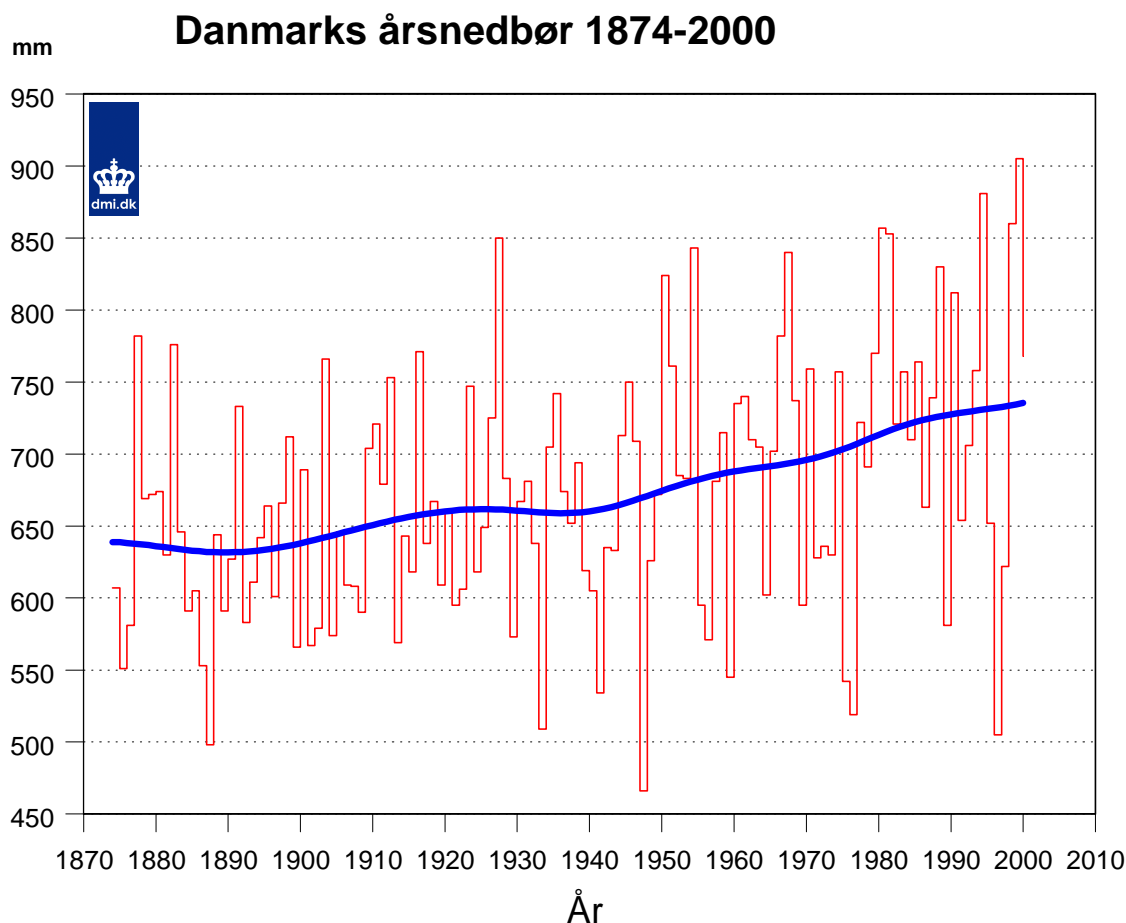


Fig. 2 Danmarks årsnedbør 1874-2000

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Den årlige nedbør på landsplan i Danmark har ikke varieret meget op til 1940, hvorefter den i gennemsnit er steget ca. 80 mm.

De vådeste måneder er normalt september, oktober og november, mens de tørreste er februar til maj.

Den største 24 timers nedbør er 168,9 mm målt ved Marstal på Ærø fra 8. - 9. juli 1931. Den længste tørke er fra 1992, hvor der fra 13. maj til 10. juli de fleste steder overhovedet ikke forekom nedbør.

I vinterhalvåret falder nedbøren indimellem som sne, og normalt optræder der ca. 30 snedage om året. Juni til september er helt snefrie, mens de snerigeste måneder er januar til marts.

Den årlige nedbør på landsplan i Danmark er i gennemsnit siden 1940 steget ca. 80 mm.

Soltimer og skydække

Det gennemsnitlige årlige soltimeantal for landet som helhed er 1701 timer, men det varierer ligesom nedbøren meget fra år til år. I Kattegat-regionen og ved Bornholm skinner Solen normalt over 1900 timer på årsbasis, mens der kommer under 1600 timer i det indre af Jylland. På landsplan er det mest solrige år 1947 med 2022 timer og det mest solfattige 1954 med 1437 timer.

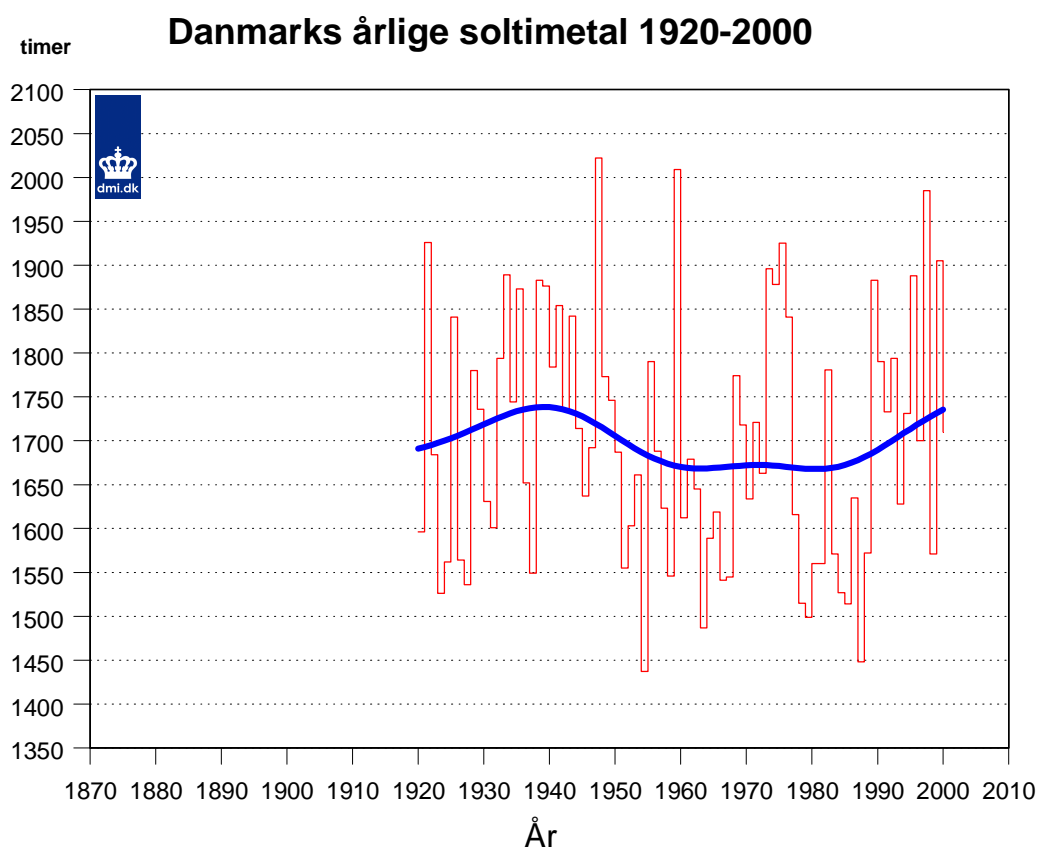


Fig. 3 Danmarks årlige soltimeantal 1920-2000

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Solskinstimerne er siden 1980 øget i takt med, at skydækket har udvist en vigende tendens; se også Fig. 4. Bemærk at landsdækkende målinger af solskinstimer først startede i 1920.

December er den mest solfattige måned med under 40 timer de fleste steder, mens juni er den mest solrige med i gennemsnit næsten 250 timer. Den mest solrige måned på landsplan er fra maj 1947 med 359 timer, og den solfattigste er fra december 1959 med kun 6 timer i gennemsnit. I juli 1994 skinnede Solen endda over 420 timer på Bornholm.

Det gennemsnitlige årlige skydække er 67 %. 146 dage er skyede (skydækket > 80 %) og kun 31 dage er klare (skydækket < 20 %). Skydækket og solskinstimerne har siden 1980 udvist en tendens mod flere solskinstimer og et mindre skydække.

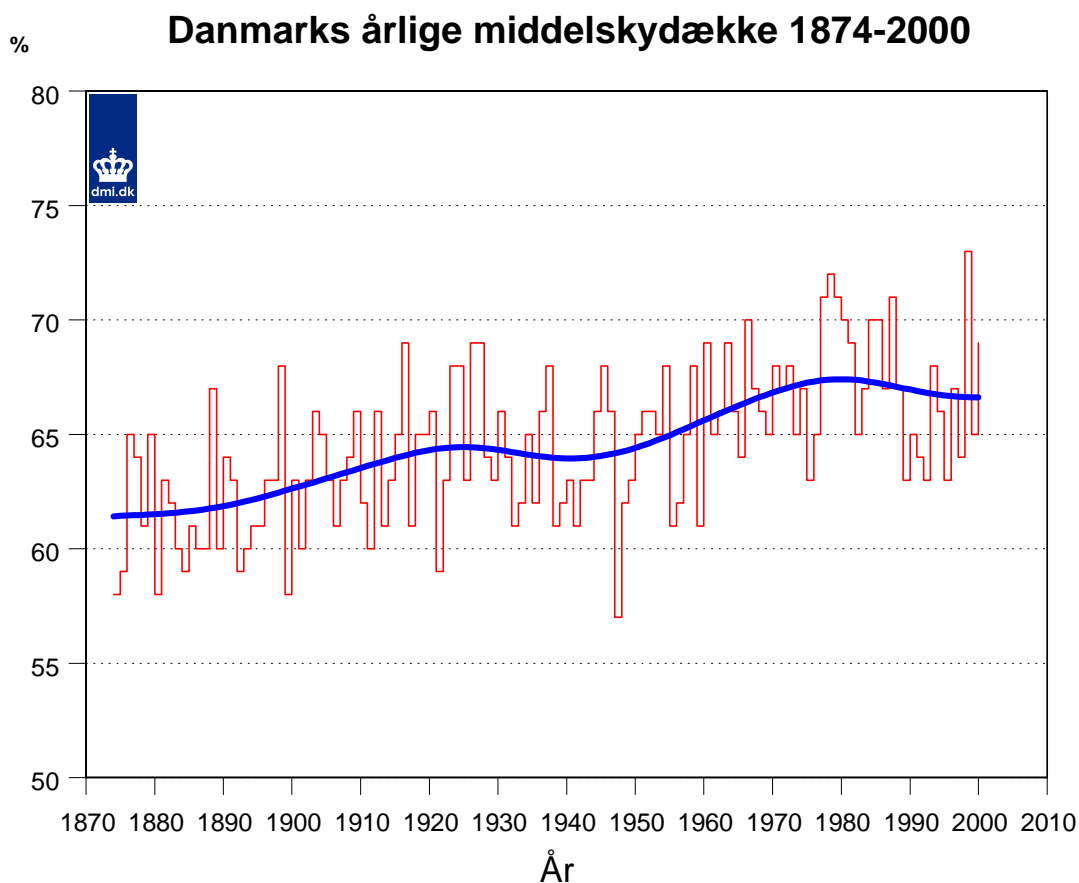


Fig. 4 Danmarks årlige middelskydække 1874-2000

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Skydækket er gennemgående steget i de sidste 125 år, men har siden 1980'erne haft en faldende tendens.

Vindforhold

Den årlige gennemsnitlige vindhastighed på landsplan er 5,8 m/s, og vinden kommer hyppigst fra vestlige retninger: omkring 25 % af alle vinde. Vinden varierer selvfølgelig meget fra kystregioner til inde i landet.

Antal dage med hård vind ($\geq 10,8$ m/s) varierer fra ca. 30 visse steder inde i landet til næsten 170 dage ved Skagen. Storm ($\geq 24,5$ m/s) ved de danske kyster optræder i gennemsnit hvert 3. til 4. år. I december 1999 ramte den hidtil værste orkan store dele af landet, og enkelte steder blev middelvindhastigheder (gennemsnit over 10 minutter) over 40 m/s (næsten 150 km/t) registreret med vindstød op over 50 m/s (omkring 185 km/t).

2. Det færøske vejr

Færøerne består af 18 små bjergrige øer, beliggende på ca. 62 grader nordlig bredde og 7 grader vestlig længde i Nordatlanten. Fra nord til syd er der 113 km, mens øst-vest udstrækningen er 75

km, og det samlede areal er 1.399 kvadratkilometer. De højeste punkter findes på de nordlige øer, der når op til knap 890 meter over havet.

Klimaet på Færøerne er under kraftig påvirkning af den varme Nordatlantiske Strøm og hyppige passager af cykloner, som afhængigt af polarfrontens beliggenhed for det meste kommer fra sydvest og vest. Klimaet er præget af milde vintre og kølige somre og er til tider meget fugtigt og regnfuldt.

Det sker, at Azorernes højtryk for en tid flytter sig mod Færøerne, og så kan stabilt sommervejr være fremherskende i flere uger med ganske høje temperaturer. Modsat kan lavtryksbanerne om vinteren gå sydligere om øerne end normalt. Det bevirker generel nedtrængning af kold luft fra nord med solrigt vintervejr i en længere periode til følge. Ved sådanne lejligheder kan der opleves usædvanligt mange frostdøgn og meget snefald. Det sidste i forbindelse med dannelse af byger i den kolde luft over det relativt varme hav. Nogle af fjordene fryser i sådanne vintre til med et tyndt lag is. Normalt oplever de nordlige øer dog næsten altid vinterlige perioder med sne og frost.

Det maritime klima er også et udslag af den kolde Østislandske Havstrøm (polarstrøm), som spalter sig i to grene med en gren fra det østlige Island mod Færøerne. Denne havstrøm drejer med uret rundt om øerne. Sammenblandingen af vandmasserne fra denne og den varme Nordatlantiske Strøm forårsager en relativt stor forskel i havtemperaturerne rundt om øerne, der igen giver lokale variationer i klimaet. Det kolde havvand virker afkølede på de fugtige overliggende luftmasser, og det er en stærkt medvirkende årsag til hyppig tågedannelse i juni, juli og august.

Luftryksforhold

Det normale atmosfæriske luftryk (ved havets overflade) i Tórshavn er 1008 hPa på årsbasis, lavest fra oktober til januar (1004-1005 hPa) og højest i maj (1014 hPa). Det lavest registrerede var 948,6 hPa 11. januar 1986, og det højest registrerede var 1046 hPa observeret 20. februar 1965. Der optræder både lange perioder med lavt luftryk, men også tilsvarende med højt luftryk.

Færøerne ligger tæt på de almindelige cyklonbaner over Nordatlanten og store og hyppige forandringer i luftrykket med stigninger og fald på 20 hPa inden for 24 timer i alle årets måneder er almindeligt forekommende. Indimellem udvikles cykloner dog så heftigt, at der forekommer trykfald på over 80 hPa/24 timer.

Temperaturforhold

Den årlige middeltemperatur i Tórshavn er 6,5°C. Temperaturen i januar og februar er omkring 3,5°C og ca. 10,5°C i juli og august. Den årlige middeltemperatur varierer fra sted til sted; den er lavest ved Vága Floghavn, 6,0°C og højest i Sandur på øen Sandoy, 7,0°C.

Selvom temperatur-variationerne fra år til år generelt er små, sker det, at temperaturen når op over 20°C. Den absolut højeste målte er 24°C ved Vága Floghavn i juli 1980. Om vinteren er temperaturen lejlighedsvis under frysepunktet. Den laveste temperatur målt er -11,7°C, også målt ved Vága Floghavn i februar 1969.

Temperaturerne i Tórshavn har i 90'erne udvist en meget svag, stigende tendens.

Nedbørsforhold

Den årlige nedbør i Tórshavn er 1284 mm, mest i efteråret og mindst om sommeren. Der er store geografiske variationer i nedbøren hovedsageligt pga. øernes topografi. På de sydlige øer ved Akraberg Fyr falder der 884 mm på årsbasis, ved Mykines Fyr i vest 823 mm, mens der på de nordlige øer, hvor der er mest bjergrigt, falder over 3.000 mm, ved Hvalvík næsten 3.300 mm. Man skønner endda, at der falder omkring over 4.000 mm de vådeste steder.

Det regner meget på Færøerne, og antallet af nedbørsdage om året er da også så højt som 300 i Hvalvík (Tórshavn 273 dage). Nedbørsdage over 10 mm er der ligeledes også over 100 af i Hvalvík og Hellur. Den største 24 timers nedbør er 182 mm målt fra 15. til 16. september 1982 i Hvalvík.

Om vinteren falder nedbøren ofte som sne. Tórshavn har gennemsnitligt 44 dage med faldende sne (45 dage med snedække), mest i december og januar. Juni, juli og august er helt snefrie, mens sne er muligt i september.

Nedbøren i Tórshavn har siden midt i 70'erne haft en markant stigende tendens.

Soltimer og skydække

Det årlige soltimeantal for Tórshavn er 840, mest i maj og juni med omkring 125 timer i gennemsnit. December er indimellem uden solskinstimer overhovedet. Det højste soltimeantal i en kalendermåned er 232 timer både i maj 1948 og i maj 2000, og det er ca. 40 % af det maksimalt mulige.

Beliggenheden i Nordatlanten kombineret med hyppige lavtrykspassager gør, at antallet af skyede dage (> 80 % skydække) er højt: 221 dage i Tórshavn. Kun ca. 2 dage pr. år er klare dage (< 20 % skydække) i Tórshavn. Det gennemsnitlige skydække er 81%, højest i juli og august: 84% og mindst i april: 79% .

Antal solskinstimer i Tórshavn har i de sidste 20 år ligget på et stabilt leje.

Relativ luftfugtighed

Færøernes klima er meget fugtigt. Den relative luftfugtighed er meget høj: 88% på årsbasis i Tórshavn. Den er højest omkring august, hvor der også optræder mest tåge, næsten 8 dage i gennemsnit. I øvrigt er det årlige antal tågedage i Tórshavn 40, mindre end de fleste steder i Danmark. Forskellene i luftfugtigheden om dagen og natten er ikke store, og det er normalt for et maritimt klima.

Vindforhold

I Tórshavn er vestlige og sydvestlige vinde de mest dominerende, mens de østlige er de mest sjældne. Sydvestlige vinde er for Færøerne som helhed de mest dominerende. De højeste 10 minutters middelvind er nær 50 m/s (180 km/t) målt ved Mykines Fyr marts 1997 og januar 1999. I marts 1997 blev vindstød på næsten 67 m/s (240 km/t) målt ved Mykines Fyr.

Middelvinden er generelt høj på Færøerne, specielt i efteråret og om vinteren (6 - 10 m/s). Vinden er normalt lavest om sommeren (4,5- 6 m/s). April til august er normalt uden storme, mens efteråret og vinteren er blæsende med adskillige storme og indimellem voldsomme orkanudviklinger, sædvanligvis fra vest og sydvest. Selv om klimaet generelt er blæsende, er der dog også stille perioder, mest om sommeren og gerne i korte perioder.

3. Vejr og klima i og omkring Grønland

Verdens største ø - på 2.2 mio. kvadratkilometer - strækker sig på den lange led over næsten 24 breddegrader. Nordpynten ligger kun 700 km fra Nordpolen, og Kap Farvel, 2.600 km sydligere, er på højde med Oslo. Mod syd er solhøjden, og dermed længden af dag og nat, næsten som i Danmark. Mod nord er der midnatssol og vintermørke, som hver for sig strækker sig over næsten en tredjedel af årets dage.

80% af landet er dækket af en sammenhængende, svagt hvælvet iskappe, Indlandsisen, som når en højde på mere end 3 km. Ved en boring ned gennem dens centrale del nåede boret grundfjeldet i 3.030 meters dybde.

Den resterende femtedel af øen huser landets dyre- og planteliv, og det er her, menneskene bor - på randen af istiden, så at sige, og fortrinsvis på de kyststrækninger, hvorfra der er adgang til åbent vand. Landets nordlige beliggenhed såvel som det omgivende kolde og mere eller mindre isfyldte hav er de faktorer, der frem for alt betinger landets kolde klima.

Klimaet i Grønland varierer enormt, men er som helhed arktisk - der kan ikke vokse skov i området. Især den nordlige del af landet knytter sig nært til det nordamerikanske kontinent, kun adskilt fra dette af et forholdsvis smalt og mere eller mindre isfyldt hav. Derimod indtager Sydgrønland en mellemstilling mellem kontinentet i vest og oceanet i øst.

Luftryksforhold

Luftrykket ved de grønlandske stationer er gennemgående højest i april/maj for samtlige stationer. Vejret i Grønland er på dette tidspunkt årets mest stabile. Variationen i luftrykket ved stationerne er derefter lille i sommermånederne, hvilket også afspejler sig i, at der her er ligevægt i forekomsten af nordlige og sydlige vinde og i øvrigt forholdsvis rolige vindforhold. Variationen er meget større om vinteren med et gennemgående højere luftryk mod nord end mod syd, hvilket generelt fører til en højere hyppighed af kolde vinde fra nordlige retninger samt højere vindstyrker.

De største trykekstremer på Grønland findes i vinterperioden grundet de store temperaturkontraster i atmosfæren. Det højeste luftryk målt i Grønland er 1059,6 hPa fra januar 1958. Det laveste målte tryk er 936,2 hPa målt ved to lejligheder - i Ikermiuarsuk december 1986 og i Paamiut januar 1988.

Vindforhold

Storme vil typisk være forbundet med lavtrykspassager. Imellem disse optræder der året rundt uforstyrrede perioder af kortere eller længere varighed, hvor lokale forhold får lov at bestemme vinden.

Et eksempel er Indlandsisens katabatiske vindsystem, der er enormt i sin udstrækning. Katabatisk betyder nedadrettet, og bevægelsen forløber fra den centrale del ud mod randen. Bevægelsen accellereres med overfladens voksende hældning, og topografien kan forårsage kanalisering, således at hastigheden ved isranden lokalt kan blive ekstremt høj.

Ellers er det de lokale forhold og især topografien, der spiller en stor rolle for såvel vindretningen som vindhastigheden. Der er store forskelle fra sted til sted, der dels afspejler lokale forhold, dels de store afstande.

Karakteristisk for Grønland er mange dage med vindstille eller svag vind, nogle steder på østkysten omkring 60 % af tiden! Under rolige vejrforhold ses et mønster af lokalt betingede vinde (Indlandsisens katabatiske vindsystem, land- og søbriser i kystlandet osv.). Disse mønstre påvirkes under indflydelse af lavtrykspassager, som især i kystzonen giver anledning til stærke vinde, der er meget påvirkede af topografien. Navnlig sydspidsen af Grønland, hvor lavtrykspassager er hyppige, har et blæsende og stormfuldt klima.

Vindstødene kan blive meget høje i Grønland. Der er målt helt op til 75,1 m/s (270 km/t) den 13. januar 1975 i Danmarkshavn, men der er givetvis forekommet højere vindstød i forbindelse med de såkaldte piteraqa'er. Disse faldvinde, der er katabatiske lokalt kanaliserede vinde fra indlandsisen, optræder flere steder i landet og er kendetegnet ved en meget brat overgang fra svag vind til storm. Piteraqa betyder "det, som overfalder en" på grønlandsk. Betegnelsen bruges især i Østgrønland, hvor Tasiilaq af og til rammes hårdt.

Den 6. februar 1970 blæste byen således næsten i havet. Natten til den 6. druknede byen i et voldsomt snefog. Den voldsomste, dokumenterede piteraqa havde taget sin begyndelse. Vindmåleren blev blæst i stykker den følgende eftermiddag ved en middelvind på 54 m/s (195 km/t) og stød op til 72 m/s (260 km/t). Man estimerede senere, at vindstødene havde været oppe på 90 m/s (325 km/t) og det ved temperaturer på -20 °C. Nogle af byens indbyggere fik forfrysninger, men alle overlevede. Derimod blev stormskaderne så betydelige, at man efterfølgende overvejede at fraflytte og nedlægge byen.

Temperaturforhold

Sommertemperaturerne både på vest og østkysten af Grønland afviger kun få grader, hvis man går fra syd mod nord - ret forbavsende når man tænker på, at det er en strækning over 2500 km. Det er sommerens midnatssol i Nordgrønland, der er skyld i det. Omvendt betyder vintermørke og fraværet af varme havstrømme, at vinterperioden fra nord til syd afviger betydeligt.

Der er også en stor forskel på temperaturforholdene fra yderkysten og ind i fjordene. Om sommeren er det drivisen og det kolde vand ved kysten, der kan betyde, at det er noget varmere inde i fjordene, og om vinteren er det modsat tilstedeværelsen af helt eller delvis åbent hav, der gør kystområderne varmere.

Føhnvinde kan om vinteren forstyrre dette billede. Føhn er meget almindelig i Grønland, og de varme og tørre vinde kan om vinteren få temperaturen til at stige 30 grader i løbet af forholdsvis kort tid med smeltning af sne og is til følge.

Temperaturrekorden på 13,9 °C fra 23. november 1987 i Nuuk er fx resultatet af en føhn, men her er luftmassen, til forskel fra den almindelige føhn fra Indlandsisen, kommet fra havet omkring Bermuda, og de lokale fjelde ved Nuuk har givet føhn-effekten. I øvrigt fortsatte den samme luftmasse op over Indlandsisen, hvor der ved den amerikanske radarstation DYE 2 blev registreret +1,5 °C og regn. Den varmeste temperatur, registreret i Grønland siden 1958, er 25,5 °C i juli 1990 ved "indlandsstationen" i Kangerlussuaq.

Årsmiddeltemperatur 1873-2000



Stationer fra Danmark, Færøerne og Vestgrønland

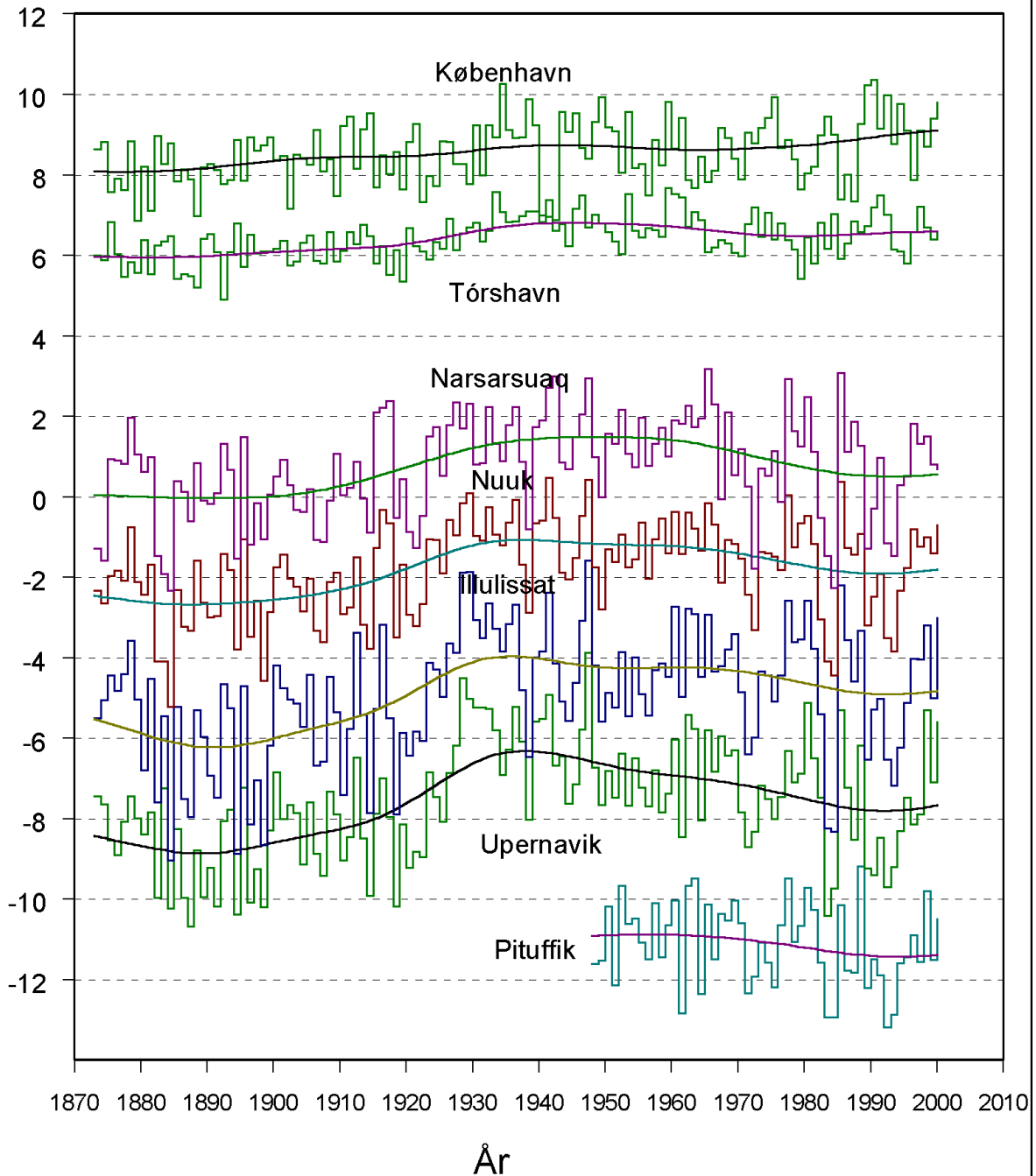


Fig. 5 Årsmiddeltemperaturen 1873 – 2000 for målestationer i Danmark, på Færøerne og i Vestgrønland

Siden 1873 er temperaturen i København og Tórshavn steget. I Vestgrønland er temperaturen ligeledes steget, indtil ca. 1940. Derefter har der været en faldende tendens indtil de seneste år, hvor temperaturen igen er steget.

Årsmiddeltemperatur 1873-2000



Stationer fra Danmark, Færøerne og Østgrønland

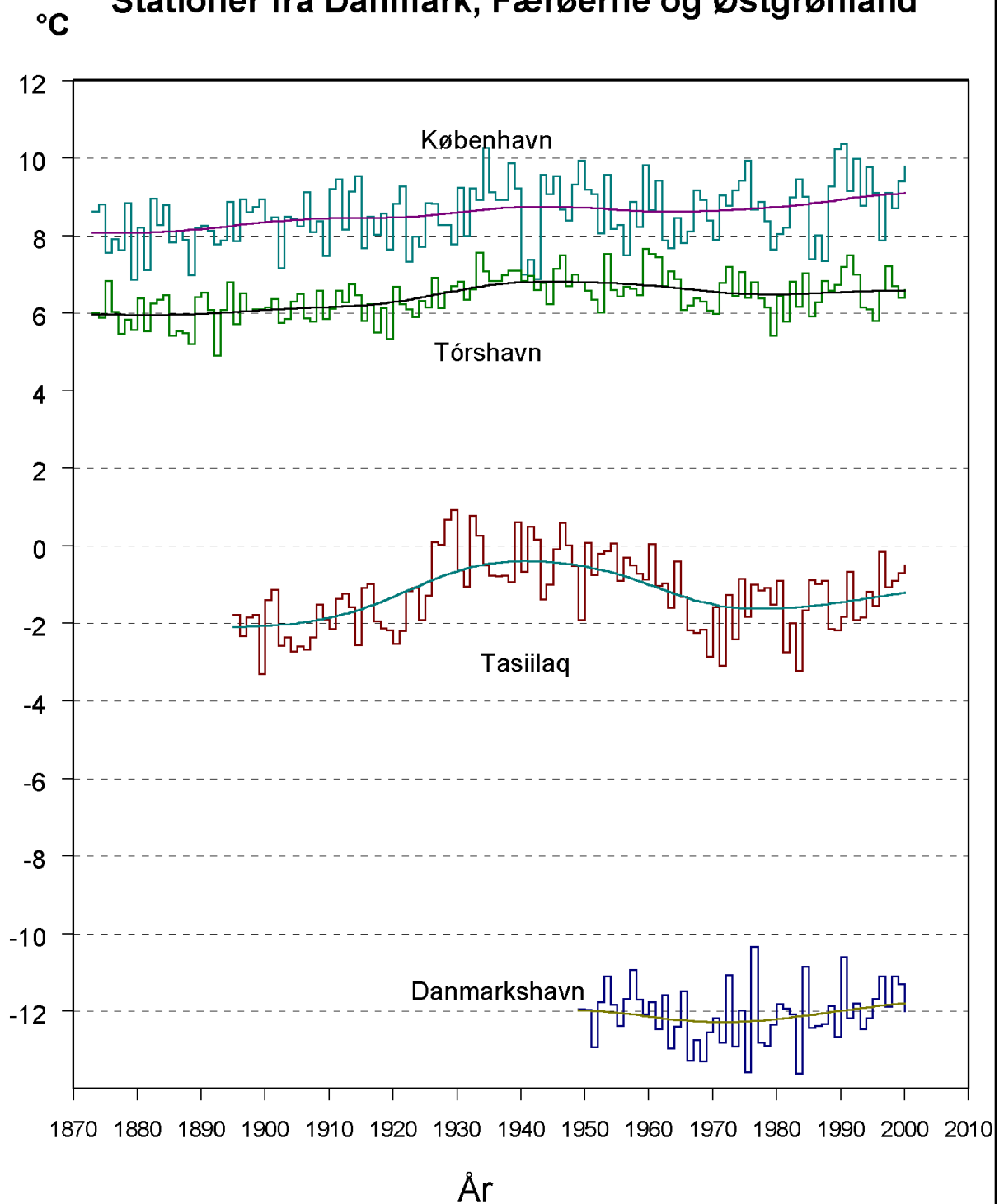


Fig. 6 Årsmiddeltemperaturen 1873 – 2000 for målestationer i Danmark, på Færøerne og i Østgrønland

Ved Tasiilaq udviser temperaturen en stigning indtil ca. 1940, derefter et fald, og siden midt i 90'erne igen en stigende tendens.

Tåge sommer og vinter

Grønland er kendt for sin klare luft. Når der ikke falder nedbør eller er snefygning, er det i højere grad Jordens krumning end dis, der begrænser synsvidden. Undtagelsen finder vi om sommeren i de omgivende farvande. Vandet forbliver koldt i forhold til atmosfæren på grund af isen, som kun langsomt smelter, som beskrevet ovenfor. De laveste luftlag vil derfor blive afkølet og deres indhold af vanddamp eventuelt fortættet, sådan at tåge af advektionstypen dannes. Tåge og drivis er en ubehagelig cocktail for skibsfarten.

Sæsonen for havtåge starter i maj, kulminerer i juli og klinger ud i september. I kystfarvandet er der i juli tåge omkring 20% af tiden. Også den centrale del af Indlandsisen har en stor tågehyppighed om sommeren.

Et meget stort antal tågedage for både Illoqqortoormiut og Aputiteeq, hvor der bare i juli måned i gennemsnit er registreret omkring 20 dage med tåge, er et udslag af disse stationers udsatte beliggenhed meget nær koldt, isfyldt hav.

Nedbør

Den målte nedbør i Grønland generelt aftager med stigende breddegrad og fra kysten ind i landet, og specielt for sydlige stationer er der en betydelig sæsonvariation. Lavtryksaktivitet, jordoverfladens højdeforhold og temperaturforhold er nøglefaktorerne i denne nedbørsfordeling. Det er nemlig sådan, at lavtrykspassager giver meget nedbør især som frontnedbør. Højdeforholdene er også afgørende, da der på vindsiden af fjeldene kommer særligt rigelig nedbør, mens den er sparsom i læsiden. Temperaturforholdene spiller ind, da det gælder, at jo lavere temperaturen er, desto mindre fugtighed kan luften indeholde, hvorfor man må forvente mindre nedbør og vice versa.

Nedbøren helt i syd og specielt i de sydøstlige egne er meget rigelig: fra 800 til op imod 2.500 mm ved kysterne, mens der længere inde mod Indlandsisen måles mindre. I de nordlige egne af Grønland er nedbøren mere sparsom, fra ca. 250 mm ned til omkring 125 mm. Her finder man enkelte steder "arktiske ørkner", dvs. områder, der er næsten snefri om vinteren, og hvor fordampningen om sommeren kan overstige nedbørmængden. Nedbøren i Kangerlussuaq er kun 149 mm på årsbasis.

Det samme mønster findes i nedbørsdøgn og nedbørsekstremer. Ikke overraskende er den største målte nedbør inden for et døgn - 183,5 mm - registreret ved Prins Christian Sund fra den 1. til den 2. november 1964. Prins Christian Sund har også næsten samtlige andre rekorder fx 3.291 mm nedbør i 1965 og 96 dage med nedbør over 10 mm i 1962. Kun i hovedstaden Nuuk er denne række af nedbørsekstremer overgået, nemlig da der i 1993 blev registreret hele 218 dage med nedbør større end eller lig med 0,1 mm.

Sne er ikke overraskende meget almindeligt i Grønland. Det kan på de fleste stationer i kystregionen faktisk sne hele året rundt uden at snedække nødvendigvis dannes. Dog sker det ikke så ofte i juli/august. Nordpå er snefald i juli og august på den anden side meget almindeligt (station Nord har gennemsnitligt 10 dage med sne i disse måneder). Det sner selvfølgelig også på Indlandsisen, men det skal ikke omtales nærmere her.

Der er således mange snedage om året, mest i den sydlige del af landet, hvor der i det hele taget falder meget nedbør. Snedybden er størst i Sydgrønland, allerstørst i Sydøstgrønland - gennemsnitligt fra 1 til over 2 meter i alle vintermåneder, nogle gange helt op til 6 meter!

Mod nord dannes de fleste steder snedække allerede i september, og det forsvinder normalt igen i juni/juli. Nogle steder er der endog mange snedække-dage i juli og august, fx station Nord, der har

31 snedække-dage i gennemsnit i de to måneder. I det nordlige Grønland vidner både antal snedage og sneens dybde om den sparsomme nedbør.

Snedækket kan i det sydlige Grønland helt forsvinde i løbet af vinteren i forbindelse med varme føhnvinde.

Skydækkeforhold

Skydannelse i Grønland hænger som andre steder i store træk dels sammen med lavtrykspassager og deres tilhørende skysystemer og dels sammen med rent lokale forhold, der hele året rundt på forskellig måde præger skydannelsen i de forskellige dele af landet.

Lavtrykspassager påvirker vejret overalt i Grønland, men absolut mest i det sydlige Grønland. Om vinteren vil de foretrukne lavtryksbaner gå fra USA's østkyst, mod nordøst syd om Grønland til Island og Norskehavet. Det vil især have en indflydelse på skydækket i de sydlige og østlige egne med en tendens til et større skydække. I sommerperioden vil lavtryksbanerne generelt følge en nordligere bane, ofte direkte mod Vestgrønland, og det vil give øget skydække her.

Det nordlige Grønland er i mindre grad påvirket af lavtrykspassager og har derfor mere skyfrit vejr om vinteren. Om sommeren derimod, er vejret her mere præget af tåge og lave skyer grundet rent lokale forhold (samspillet mellem indstråling og is/hav/landjord).

Soltimer

På Grønland har man nord for polarcirklen (omkring 66,5 grader nordlig bredde) midnatssol og mørketid (polarnat) af varierende længde afhængigt af breddegraden. Ved midnatssol menes, at Solen er på himlen alle døgnets 24 timer, mens der omvendt ved mørketid menes, at Solen overhovedet ikke kommer over horisonten.

På trods af mørketiden har de nordlige stationer flere solskinstimer sammenlignet med de sydlige. Dette skyldes selvfølgelig den "lange" dag, men også et generelt mindre skydække. Men selvom jordoverfladen omkring sommarsolhverv pga. den lange dag modtager mere solvarme end troperne, tilbagekastes en betydelig del af energien pga. af den skrå indfaldsvinkel og de sne- og isdækkede overflader.

4. Fremtidens klima

Fremtidige klimaændringer som følge af naturlige eller menneskeskabte påvirkninger gennem fx varierende solaktivitet, øget drivhuseffekt, nedbrydning af ozonlaget og udslip af aerosoler vurderes ved hjælp af klimamodeller. Klimamodeller omfatter - ud fra fysikkens love og konstaterede sammenhænge - matematiske beskrivelser af klimasystemets komponenter: atmosfære, oceaner, is og sne, landoverflader og biosfære. Modellerne bliver stadig mere komplekse, og beregningerne udføres på store computeranlæg.

Ved DMI/Danmarks Klimacenter er der (bl.a. i samarbejde med Max Planck Institut für Meteorologie i Hamborg) gennemført globale og regionale beregninger for flere scenarier for fremtidige udslip af drivhusgasser og aerosoler, nemlig IPCC's IS92a-Business-as-Usual scenario og de nye A2- og B2-scenarier fra IPCC's særrapport (SRES-2000) om udslipsscenarier (Christensen, 2000; Stendel et al., 2000; Stendel et al., 2001; Christensen and Christensen, 2001; May, 1999; May, 2001, Andersen et al. 2001).

Fremtidige klimaændringer i Danmark

Beregninger med globale og regionale klimamodeller viser følgende generelle udvikling for klimaet i Danmark i 2100 i forhold til 1990:

- En stigning i den årlige gennemsnitstemperatur på ca. 4°C, lidt afhængig af det valgte emissionsscenario. Opvarmningen er størst om natten. Der er kun lille forskel på temperaturstigningen sommer og vinter.
- En moderat stigning i vinternedbøren (110-140% af den nuværende nedbør) og formentlig et mindre fald i sommernedbøren (75-90% af den nuværende nedbør). En tendens til flere episoder med meget kraftig nedbør, især om efteråret.
- En tendens til generel stigning i vinde fra vestlige retninger - samtidig med at stormbanerne over Nordatlanten rykker lidt mod øst - fører til en lille stigning i stormaktivitet over Danmark og de tilstødende farvande. Selvom det er meget usikkert, viser efterfølgende beregninger med stormflodsmodeller, at den højeste vandstand i de største stormfloder kan stige med 5-10% i forhold til i dag (Kaas et al. 2001).

De gennemførte beregninger giver ikke umiddelbart scenarier for fremtidige vandstandsændringer omkring Danmark, men tidligere studier (Duun-Christensen, 1992) viser, at vandstandsstigninger omkring Danmark bliver lidt mindre end de globale stigninger på grund af vertikale landbevægelser. Fx vurderes en global vandstandsstigning på 0,5 m at føre til stigninger på ca. 0,4 m omkring Danmark. I disse tal er der ikke taget højde for den regionale effekt på vandstanden af ændrede oceaniske strøm-, temperaturforhold samt vindforhold. Vindefekten alene giver en stigning på 3-5 cm (Kaas et al, 2001). IPCC vurderer at den globale vandstand vil stige 0,1-0,9 m frem til 2100 for SRES-scenarierne. For danske effekt- og følsomhedsstudier er typisk benyttet vandstandsstigninger på 0,25-0,5 m.

Fremtidige klimaændringer i Grønland

DMI's beregninger med globale klimamodeller (May, 1999; Stendel et al., 2000) viser følgende, generelle udvikling for klimaet i Grønland i 2100 i forhold til 1990:

- En stigning i den årlige gennemsnitstemperatur i Sydgrønland på godt 2°C, lidt mere om vinteren og lidt nærmere 2°C om sommeren. I Nordgrønland er der tale om meget store temperaturstigninger på 6-10°C om vinteren, men kun små stigninger om sommeren.
- En generel stigning i nedbøren til 110-150% af de nuværende værdier, dog med lille eller ingen stigning i Sydøstgrønland. Om vinteren er stigningen dog væsentligt større i Nordgrønland, lokalt op til over 200%.

Fremtidige klimaændringer på Færøerne

DMI's beregninger med globale klimamodeller (May, 1999; Stendel et al., 2000) viser følgende generelle udvikling for klimaet på Færøerne i 2100 i forhold til 1990:

- En stigning i den årlige gennemsnitstemperatur på ca. 3°C. Der er kun lille forskel på temperaturstigningen sommer og vinter.
- En stigning i vinternedbøren til ca. 125% af de nuværende værdier, men kun små eller ingen stigninger om sommeren.

5. Klimaforskning

Introduktion

Forskningen inden for klima i bred forstand foregår i en række institutter og organisationer, og forskningen dækker over en lang række discipliner fra naturvidenskab til vurdering af

virkemidler og samfundsmæssige aspekter. Observationer af klimaparametre (atmosfære og ocean) foretages af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) under Verdens Meteorologiske Organisations (WMO's) programmer og underprogrammer: World Weather Watch Programme (WWW), Global Atmosphere Watch (GAW), Global Observing System (GOS), Global Climate Observing System (GCOS) og Global Ocean Observing System (GOOS). Den danske forskning bidrager til en lang række af de internationale projekter under World Climate Research Programme, som fx Arctic Climate System Study (ACSYS), Climate Variability and Predictability (CLIVAR), Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX), Stratospheric Processes And their Role in Climate (SPARC) og World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Desuden har Danmark medvirket i IPCC's arbejde gennem bl.a. forfatterskab til alle tre hovedrapporter.

Klimaovervågning og –forskning har været en hovedopgave for DMI i mere end 125 år, og med etableringen af Danmarks Klimacenter ved DMI i 1998 som led i regeringens handlingsplan ”Danmark som foregangsland” blev området og det nationale og internationale samarbejde styrket.

DMI/Danmarks Klimacenter dækker primært den fysiske verden, dvs. måling, teori og modellering af klimasystemet, mens andre institutioner - fx Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS) og Forskningscenter for Skov og Landskab (FSL) samt Danmarks Jordbrugsforskning og Forskningscenter Risø - beskæftiger sig med virkninger af klimaændringer og samfundsmæssige aspekter. Derudover arbejdes der også med drivhusgasemissioner og forskellige aspekter af klimaforskning på flere af landets universiteter. Danmarks Klimacenter har udgivet en samlet oversigt, hvor hovedparten af den aktuelle danske forskning i klimaændringer beskrives (Jørgensen et al., 2001).

Forskningen ved DMI/Danmarks Klimacenter finansieres for en væsentlig del af EU-Kommissionens rammeprogrammer for forskning og teknologisk udvikling (se DMI Technical Report 98-3) samt af programbevillinger og centrets basisbevilling.

Klimaprocesser og –studier

Ved DMI/Danmarks Klimacenter forskes bl.a. i atmosfæriske og koblede atmosfærisk-oceaniske processer, som er vigtige i forbindelse med globale klimaændringer. Disse processtudier omfatter bl.a. naturlige atmosfærisk-oceaniske vekselvirkninger på tidsskalaer fra år til årtier samt de mere overordnede processer af betydning for dybvandsdannelse i Nordatlanten.

De oceanografiske projekter omfatter:

- ”Biogeochemical cycling of Carbon and Ocean circulation in the northern North Atlantic”. Projektet har til formål at studere betydningen af den marine kulstofdynamik på høje breddegrader for det globale oceanatmosfære kulstofsystem.
- ”Vestnordisk Oceanklima” er et fællesnordisk projekt der har til formål at studere forandringer i Nordatlantens cirkulation og deres betydning for klimaudviklingen i området. Arbejdet inkluderer såvel observationer, dataanalyse og modellering. DMI's bidrag er i samarbejde med Grønlands Naturinstitut koncentreret om de grønlandske farvande.
- ”Modellering af oceaniske processer af betydning for den thermohaline cirkulation” fokuserer på en forbedring af sensitiviteten af HOPE-C modellen for De Nordiske Have med henblik på studium af forandringer i cirkulation og konvektionsprocesser i De Nordiske Have samt transporten af dybvand hen over Grønland-Skotland tærsklen - grundelementer i den globale thermohaline cirkulation - som følge af ændringer i den atmosfæriske forcering.
- ”Konsekvenser af klimaforandringer for havmiljøet omkring Grønland” har til formål at bidrage til en øget forståelse af konsekvenserne af mulige klimaforandringer for havmiljøet

omkring Grønland. Projektet involverer meteorologisk, oceanografisk og biologisk modellering.

Via assimilering af atmosfæriske re-analyser i atmosfæriske modeller foretages desuden flere undersøgelser af atmosfæriske processer, som er vigtige dels for udvikling af forbedrede atmosfæremodeller, dels for detektering af ændringer i de ydre klimapåvirkninger. Endelig analyseres og sammenholdes tendenser og variationer i de nyeste troposfæriske temperaturobservationer fra satellitter (primært MSU-data) og radiosonder.

Der arbejdes ved DMI på at forbedre modeller, der kan beskrive udtyndingen af det stratosfæriske ozonlag. Dette område er vigtigt, ikke kun i relation til Wienerkonventionen vedr. beskyttelse af stratosfærens ozonlag, men også i klimasammenhæng, da der er en vekselvirkning med drivhuseffekten.

DMI har således deltaget i alle større europæisk-amerikanske arktiske ozonforskningskampagner gennem 1990'erne som EASOE, SESAME, THESEO og THESEO-2000/SOLVE. DMI's ozonforskning baserer sig på analyser af et bredt udvalg af tilgængelige observationer sammenholdt med analyser af de meteorologiske forhold i stratosfæren. Forskningen omfatter analyser af spredning af ozonnedbrudt luft fra polarområderne til mellembreddegrader, eksperimentelt og modelteoretisk arbejde vedrørende dannelse af polar-stratosfæriske skyer, samt modellering af udbredelsen af lokaliserede bjergbølger. Forskningen sigter mod en bedre forståelse og modellering af processerne, der fører til kemisk nedbrydning af ozonlaget. I klimamæssig henseende er denne forskning relevant, idet forøgede koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren samt nedbrydningen af stratosfærens ozonlag forventes at føre til lavere temperaturer i den polare stratosfære samt til dannelse af en mere stabil og længerevarende polar vortex. Disse betingelser kunne medføre en mere udbredt dannelse af polar-stratosfæriske skyer samt kraftigere kemisk ozonnedbrydning længere frem i forårsmånederne med udvikling af egentlige ozonhuller over de arktiske områder til følge, i lighed med hvad der opstår hvert sydpolart forår over Antarktis.

Klimamodellering og fremtidens klima

DMI/Danmarks Klimacenter arbejder tæt sammen med forskningsinstitutioner i Europa og med væsentlig støtte fra EU-Kommissionen om beregning af de klimatiske konsekvenser af øget drivhuseffekt, nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag og variationer i solens aktivitet. Hovedvægten ligger på Danmark og det europæiske område, men der arbejdes også globalt.

Arbejdet omfatter såvel modeludvikling som anvendelse af modellerne til scenarieberegninger af fremtidens klima. Modellerne omfatter:

- Relativt enkle empiriske modeller til beskrivelse af lokale klimaændringer og variationer (downscaling) samt til brug for sæsonprognoser.
- En regional dynamisk atmosfære-klimamodel til beregning af regionale/lokale klimaændringer og -variationer. Det primære fokus er på Danmark, Europa og Grønland.
- Fintmaskede globale dynamiske atmosfæriske klimamodeller til beregning af globale/-regionale klimaændringer og -variationer.
- Globale dynamiske koblede atmosfære-ocean-havis-modeller, der benyttes til beregning af klimaændringer (primært som følge af øget drivhuseffekt) og interne variationer i klimaet på 5-100 års tidsskala.

Der er for nylig gennemført såvel globale som regionale scenarie-beregninger baseret på IPCC's såkaldte SRES emissionsscenarier - mere specifikt scenarierne A2 og B2. De globale simuleringer er beskrevet i Stendel et al. 2000 og resultaterne er anvendt i IPCC's tredje

vurderingsrapport fra "Arbejdsgruppe I". De regionale simuleringer for Danmark og Grønland er p.t. (september 2001) ved at blive analyseret. For Danmark er det specielt ændringer i (ekstrem) nedbør, jordfugtighed og stormaktivitet, som er vigtige. For Grønland er især ændringer af den simulerede sne-akkumulering på indlandsisen af særlig interesse. Scenarierne stilles til rådighed for forskergrupper, der studerer virkninger af klimaændringer.

Forskningen vedrørende ozon som klimagas inkluderer ozons indflydelse på cirkulationen i stratosfæren samt strålingsforcing og klimaeffekter forårsaget af ændringer i ozon-koncentrationen. I modsætning til forøgelsen af CO₂ er ændringerne i ozonen meget varierende i både tid og rum. Skønt klimaeffekten af ozon-ændringerne forventes at være relativt små ved jordoverfladen, vil de være betydelige i stratosfæren og den øvre troposfære. På grund af de store rumlige variationer i ozonændringerne og ozons effekt på både lang- og kortbølget stråling vil adskillige tilbagemeldinger være involveret i klimaeffekten. Et af disse er knyttet til en forøget hydrologisk aktivitet og er stærkest for ozonændringer i den øvre stratosfære.

Forskningen på dette område benytter sig af en global klimamodel samt simple strålingskonvektions modeller. Gennem 90'erne har DMI koordineret projekterne ROCS ("Role of Ozone in the Climate System") og SCORE ("Studies of Climate-Ozone Relationships") finansieret af EU-Kommissionen samt deltaget i "Ozone as a Climate Gas" finansieret af Nordisk Ministerråd.

6. Systematiske klimaobservationer

Atmosfæriske klimaobservationer

DMI/DKC foretager en løbende overvågning af de vigtige vejr- og klimaparametre. I klimaovervågningen benyttes både klassiske målemetoder, og der udvikles nye satellitbaserede observati-onsmetoder.

DMI driver ca. 200 automatiske målestationer i rigsfællesskabet (Danmark, Grønland og Færøerne) med et bredt måleprogram spændende fra automatiske vandstands- eller nedbørsstationer, der kun måler én parameter, til stationer med et fuldt udbygget måleprogram inklusive automatiske skyhøjdedetektorer og vejrtypedetektorer. Fra 2001 opereres der ikke længere med et særskilt net for klimaobservationer, idet der har været en teknologisk konvergens mellem nettyperne og et stærkt ønske om effektivisering af nålenettet.

Det hidtidige manuelle målenet erstattes i disse år af automatiske målestationer i det hurtigst mulige tempo. Målet med dette er at eliminere menneskelige fejlkilder, at realisere et eventuelt rationaliseringspotentiale, og muliggøre en væsentligt højere observationsfrekvens. Tidligere observerede man hver tredje time, men i dag er der krav om automatiske observationer hvert 10. minut fra de nye stationer, hvilket ikke kan gøres manuelt. Hensigten er samtidig at opnå en konvergens imellem de forskellige stationstyper, således at antallet af stationstyper og reservedele bliver reduceret mest muligt uden tab af kvalitet.

Til indsamling af nedbørdata driver DMI yderligere et netværk af 500 manuelle nedbørsstationer der især bruges til kortlægning af nedbørsklimatologien, men målingerne vil blive tilgængelige som daglig kortlægning af nedbøren.

Udover at være til brug for nationale programmer vedrører observationerne Danmarks internationale bidrag i form af observationskomponenter fra dansk område til det verdensomspændende meteorologiske observationsnet, WWW - World Weather Watch, UNFCCC og andre internationale programmer for kortlægning af vejr og klima indenfor GSOC

(Global Climate Observing System) koordineret af Verdens Meteorologiske Organisation (WMO).

Det danske observationsnet udmærker sig ved en høj gennemsnitlig datatilgængelighed, som det fremgår af Tabel 1.

| | |
|--|------------|
| Automatiske vejrstationer, inklusive Grønland og Færøerne | 96% |
| Satellitmodtagelse | 98% |
| Vejrradar | 98% |
| Radiosondring, Danmark/Færøerne | 99% |
| Radiosondring, Grønland | 96% |
| Stormflodsstationer | 99% |

Tabel 1. Gennemsnitlig datatilgængelighed i 2000

De meteorologiske observationer arkiveres i DMI's database, og observationer fra adskillige danske stationer er til rådighed på elektronisk form helt tilbage til 1872, vandstandsmålinger fra 1890 og målinger af havets overfladetemperatur fra 1931. I 2001 er den daglige tilgang af observationer fra rigsfællesskabet 75.000, og det samlede antal observationer i databasen er omkring 245.000.000.

De meteorologiske observationssystemer, der primært har interesse i klimasammenhæng, er:

- Overfladeobservationssystemet
- Radiosondenettet
- Vejrradarnettet
- Isobservationstjenesten

Disse systemer vil hver for sig blive gennemgået i det følgende. Desuden omtales DMI's stratosfæreobservationer samt oceanografiske observationer.

Overfladeobservationsnettet

Overfladeobservationsnettet består af historiske og praktiske grunde af mange forskellige stationstyper. Hvis man ser bort fra de manuelle nedbør- og solskinstimestationer, er der siden 1970'erne sket en gradvis automatisering af stationerne med stadigt stigende tempo, således at der ved udgangen af 2000 rådedes over et næsten 100% automatiseret net af vejrstationer. Tabel 2 giver en oversigt over stationsnettet. DMI modtager et stigende antal observationer fra samarbejdspartnere i alle dele af rigsfællesskabet, hvorfor disse også er medtaget i tabellen.

| Type | DMI | | | Samarbejdspartnere | | |
|--|------------|-----------|----------|--------------------|-----------|-----------|
| | Danmark | Grønland | Færøerne | Danmark | Grønland | Færøerne |
| Manuelle eller delvist manuelle vejrstationer | 6 | 4 | | | | |
| Automatiske vejrstationer | 50 | 25 | 4 | 15 | 11 | 1 |
| Manuelle nedbørsstationer | 489 | 1 | 5 | | | 17 |
| Automatiske nedbørsintensitetsstationer | 4 | | | 70 | | |
| Solstationer | 33 | 6 | 2 | | | |
| Automatiske vandstandsstationer | 15 | 1 | 1 | 60 | | |

Tabel 2. Oversigt over overfladeobservationsnettet

Ud over observationer fra de danske landområder har DMI observationsaftaler med ca. 50 danske, grønlandske og færøske skibe, som foretager systematiske observationer i Nordsøen, Østersøen, Nordatlanten og farvandene omkring Danmark. Dertil kommer, at Danmark indgår som partner i EGOS samarbejdet vedrørende indsamling af vejrobservationer fra drivende vejrbojer i Nordatlanten, idet DMI råder over strategisk velplacerede satellitmodtagefaciliteter i Kangerlussuaq (Grønland) og i København. Danske observationer vil også indgå i og blive koordineret med EUCOS (European Coordinated Observation System) organiseret af EUMETNET (European Meteorological Network).

Radiosondenettet

En radiosondemåling foregår ved, at en lille fuldautomatisk vejrstation sendes op med ballon. Ballonen kan nå en højde af ca. 35 kilometer, og under hele opstigningen sender den observationer af temperatur, tryk, fugtighed og vindstyrke via radiokommunikation til en modtagestation. Ved at radiosondere får man en måling af atmosfærens lodrette profil til brug i analyser af atmosfærens tilstand. Der er endvidere mulighed for at måle ozon og radioaktivitet.

DMI driver radiosondestationer i København og i Tórshavn på Færøerne, samt i Danmarkshavn, Illoqqortoormiit, Tasiilaq, Narsarsuaq og Asiaat i Grønland. Hertil kommer driften af to såkaldte ASAP containere, der er transportable radiosondestationer beregnet til brug på skibe. DMI har i en længere årrække haft en aftale med et grønlandsk rederi om at foretage skibsbårne



Figur 7. Vejrradar på Stevns

radiosondemålinger i Nordsøen og Nordatlanten.

Radiosondestationerne og ASAP enhederne foretager to daglige sonderinger, idet ASAP enhederne dog aflyser sonderingen, hvis de er i nærheden af en land-radiosondestation som f.eks den i Tórshavn. Det samlede årlige antal sonderinger ligger i størrelsesordenen 5.800.

Vejrradarnettet

Danmark har med radarer i Sindal, Stevns og Rømø et næsten 100% landsdækkende net af vejrradarer, og samtidig et særdeles tæt net af jordbaserede nedbørsstationer. I 2001 forventes der yderligere etableret en vejrradar på Bornholm.

Vejrradarnettet har en uovertruffen høj rumlig opløsningsevne, og det er derfor i stand til at give nedbørsklimatologiske informationer med en meget høj detaljeringsgrad både på nationalt, regionalt og lokalt plan. Ved at kalibrere radardata op mod overfladebaserede punkt-nedbørsmåling-er viser nyeste forskningsresultater, at der kan opnås god absolut nøjagtighed. Det nuværende radarnet har en datafrekvens på 6 datasæt i timen, og den rumlige opløsning er $2 \times 2 \text{ km}^2$.

Isobservationer

DMI har ansvaret for den systematiske overvågning af isforholdene i farvandene omkring Grønland. Der er indsamlet observationer af isforholdene i ca. 125 år, og et meget stort datamateriale foreligger på grafisk form i form af månedsoversigter, iskort m.v. Siden 1959 har specielt farvandet syd for Kap Farvel været genstand for intensiv overvågning med det sigte at gøre skibsfarten i området mere sikker. Der udarbejdes flere gange ugentligt iskort med detaljerede oplysninger om relevante isforhold. Alle nyere iskort foreligger på vektor-grafisk form. Siden år 2000 er der blevet udarbejdet ugentlige oversigtskort, der viser isforholdene hele vejen rundt om Grønland. Kortene udarbejdes på grundlag af satellitdata og er i al væsentlighed et automatisk fremstillet produkt, der primært er tænkt som grundlag for analyser af klimatiske

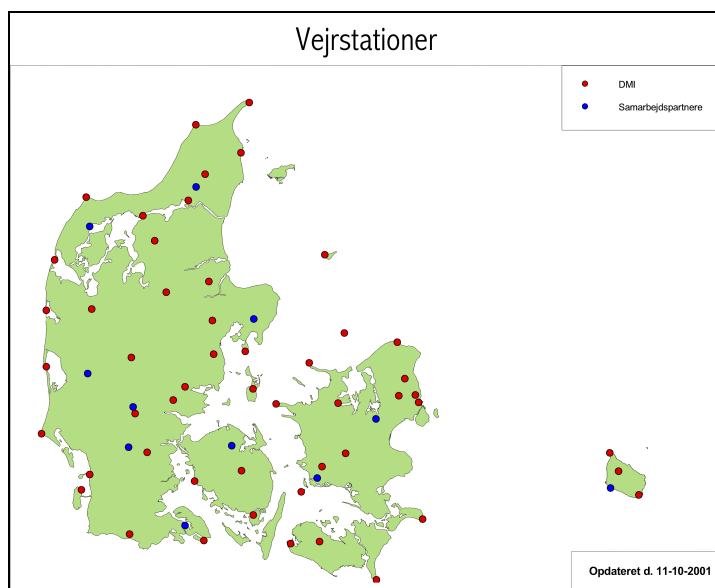
forhold for Grønland med omliggende farvande. Se Figur 15 for et eksempel på et sådant oversigtskort. Der udføres ved DMI et forskningsarbejde med kortlægning af havisens udbredelse igennem forrige århundrede. Resultatet vil snart blive publiceret.

Stratosfæreobservationer

DMI foretager løbende monitoring af det stratosfæriske ozonlag. Der gennemføres daglige jordbaserede målinger af ozonlagets tykkelse med Brewer-spektrometre fra København og Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord) samt daglige målinger i forårs og efterårsmånederne med SAOZ-spektrometer fra Pituffik (Thule Air Base). DMI gennemfører endvidere ugentlige målinger af den vertikale ozonprofil med ballonbårne sonderinger fra Illoqqortoormiut (Scoresbysund). Målingerne rapporteres til databaserne under Network for the Detection of Stratospheric Change (NDSC) samt World Ozone and UV-radiation Data Center under WMO-programmet Global Atmosphere Watch. Der gennemføres endvidere ozonsonderinger på kampagnebasis fra Pituffik og Illoqqortoormiut i vinter- og forårsmånederne, ofte som led i større forskningskampagner. Der pågår endvidere ballonbårne eksperimenter til studier af polarstratosfæriske skyer fra Grønland og Skandinavien. Data fra forskningskampagnerne rapporteres til det fælles-europæ-iske datacenter ved NILU i Norge.

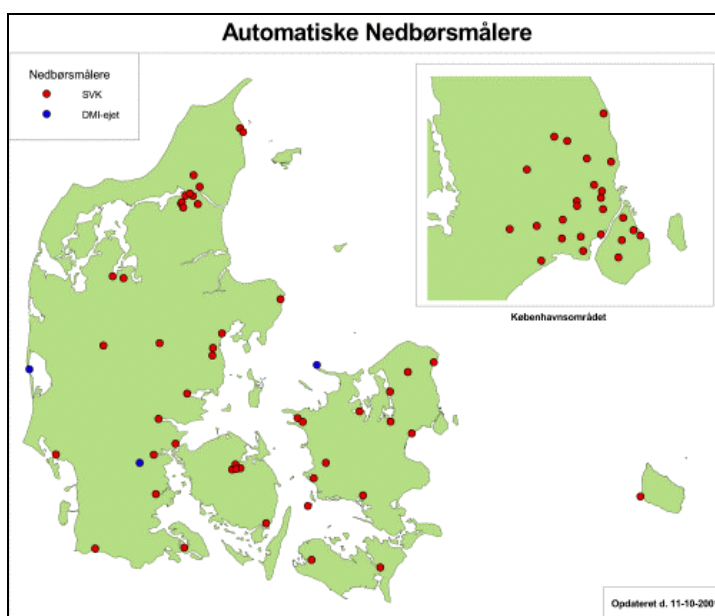
DMI's stratosfæreobservatorier i Pituffik og Kangerlussuaq indgår som primære stationer i Network for the Detection of Stratospheric Change, et af NASA styret, verdensomspændende netværk af målestationer udstyret med standardiseret instrumentering af verificeret høj kvalitet til overvågning af stratosfærens tilstand og processerne, der fører til kemisk nedbrydning af ozonlaget. Foruden ozon- og NO₂-observationer gennemfører DMI i Pituffik målinger af UV-B strålingsniveauet. Udover DMI's instrumentering omfatter NDSC-stationerne lidarar til måling af stratosfæriske aerosoler- og skypartikler (Italien og USA) samt infrarød spektrometer (USA) til måling af en lang række stratosfæriske sporstoffer.

DMI driver sammen med de vesteuropæiske meteorologiske tjenester det fælleseuropæiske meteorologiske regnecenter i Storbritannien, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) og deltager her i opbygning og anvendelse af såkaldte globale reanalyser, der udgør et fundamentalt sæt af data til forståelse af klimavariationer og -ændringer baseret på alle målinger globalt igennem en 40-års periode. Desuden vedligeholdes og oprettes databaser over klimaudviklingen i de forløbne godt 100 år.



Figur 8.

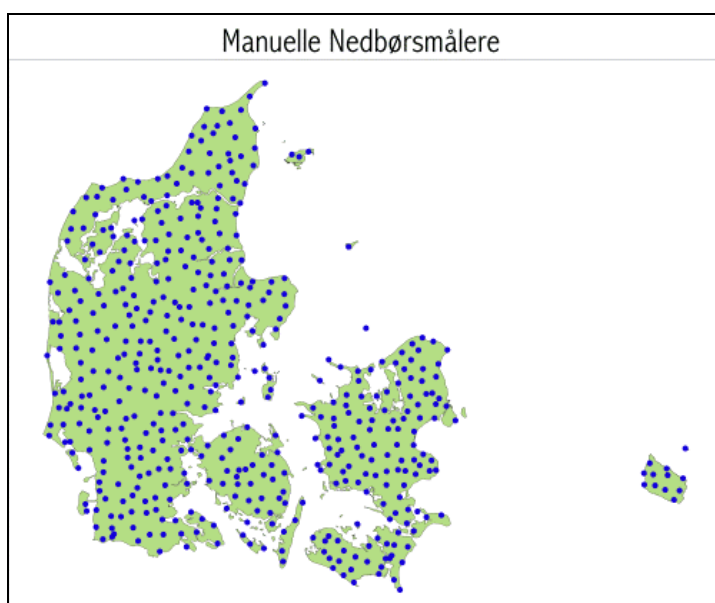
DMI's net af automatiske og manuelle vejrstationer i Danmark



Figur 9.

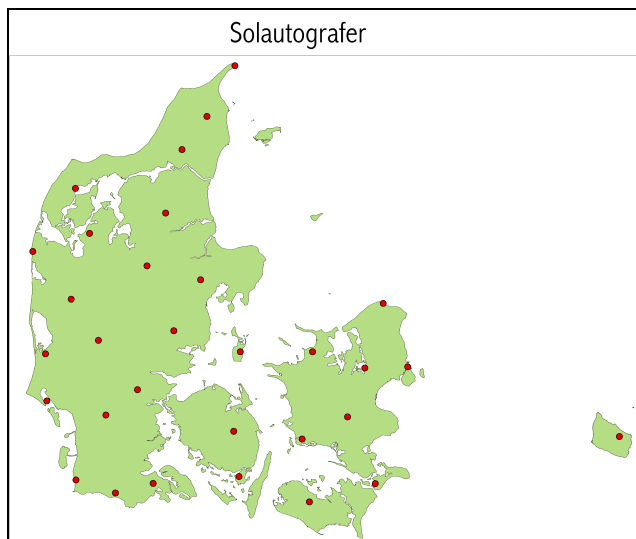
DMI's net af automatiske nedbørsintensitetsmålere i Danmark.

Det indsatte kort viser målestationerne i Københavnsområdet.



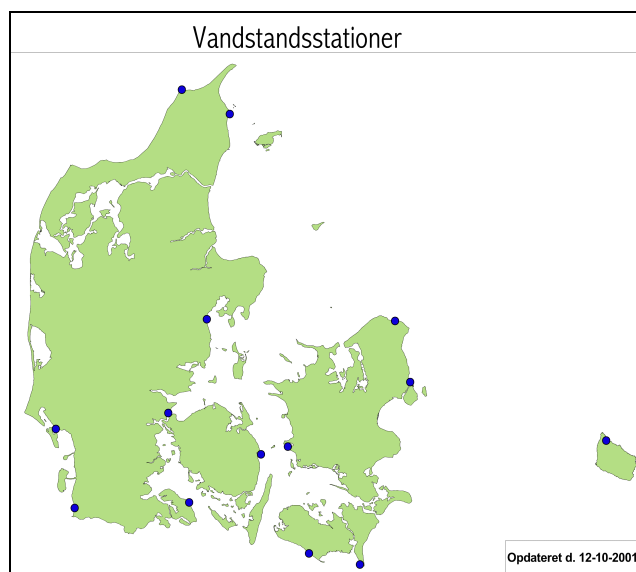
Figur 10.

DMI's net af manuelle nedbørsmålere



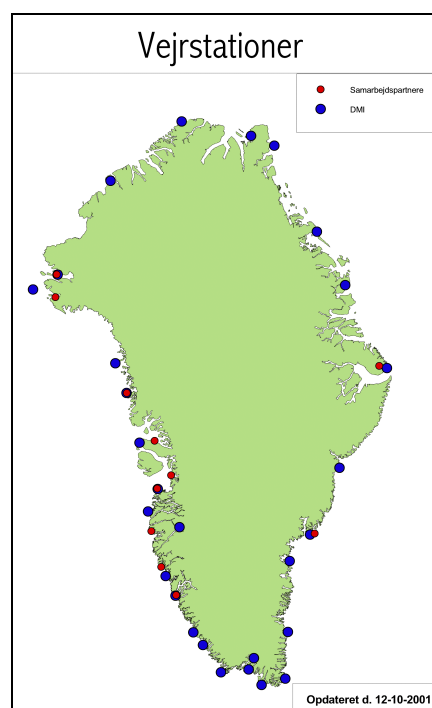
Figur 11.

DMI's net af solskinstimemålere i Danmark.



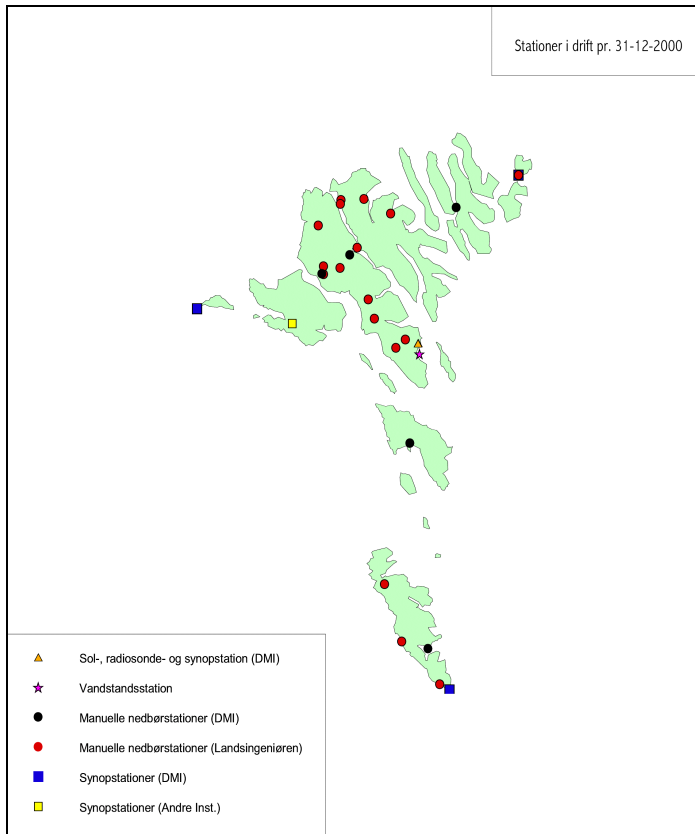
Figur 12.

DMI's net af automatiske vandstandsstationer i Danmark.



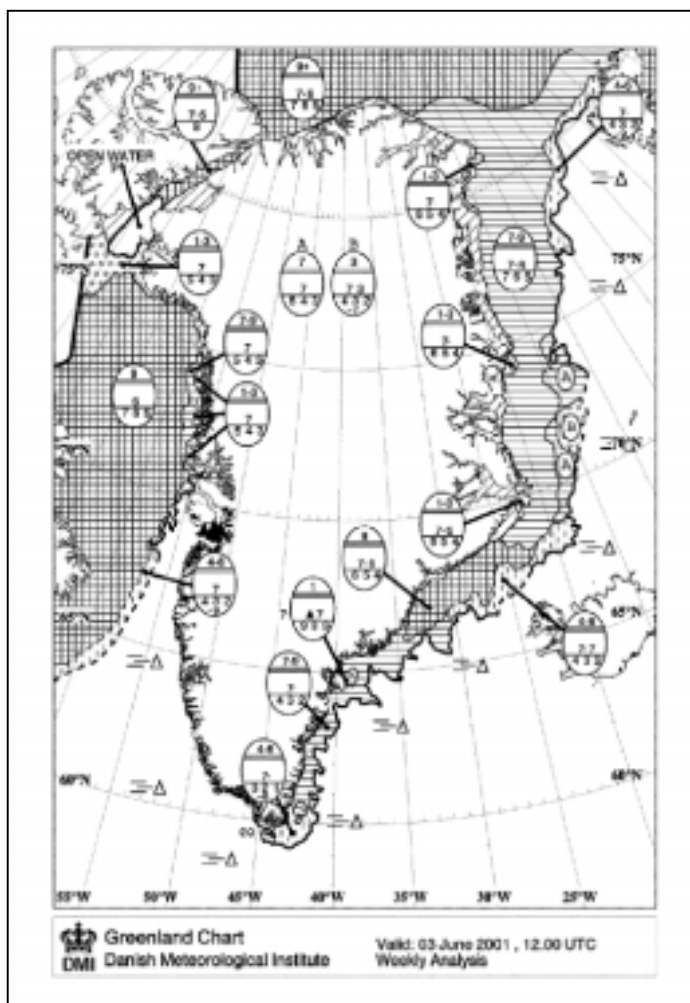
Figur 13.

DMI's net af automatiske vejrstationer i Grønland.



Figur 14.

DMI's stationsnet på Færøerne.



Figur 15.

Eksempel på
oversigtskort
for 3. juni 2001.

Oceanografiske klimaobservationer

DMI overvåger sammen med bl.a. kystdirektoratet vandstanden ved en række danske lokaliteter. DMI's stationsnet er vist i figur 12.

I samarbejde med Grønlands Naturinstitut gennemfører DMI årligt oceanografiske observationer på standardsektioner ved Grønlands vestkyst med det formål at monitorere klimaforandringer i det grønlandske marine miljø med henblik på anvendelse i fiskerivurderinger.

Desuden deltages i særlige målekampanjer i fx Nordatlanten. DMI varetog således i 1999 ledelsen af forskningsskibet DANA's togt i Grønlandshavet, hvor formålet var at undersøge Grønlandshavets betydning for den globale oceane cirkulation og dennes indflydelse på det globale klima.

Udviklingsbistand til oprettelse og vedligeholdelse af observationssystemer og systemer til klimaovervågning

DMI har siden september 1997 deltaget i et udviklingsprojekt sammen med det ghanesiske meteorologiske institut (Meteorological Services Department – MSD). Projektet har bl.a. til formål at genetablere et meteorologiske stationsnetværk i landet og derigennem sikre indsamlingen af data. Samtidig arbejdes der på en bedre formidling og nyttiggørelse af de indsamlede data. Projektet løber efter planen frem til udgangen af 2003. Det er planen, at MSD ved projektets afslutning skal have et velfungerende observationsnetværk bestående af ca. 300 stationer, der registrerer de gængse meteorologiske parametre.

Danmarks Klimacenter/DMI deltager i projektet "Anvendelse af klimatiske sæsonprognoser til forbedring af dyrkningsstrategier for afgrøder i Vestafrika". Formålet er at undersøge mulighederne for at tilpasse dyrkningspraksis for en udvalgt landbrugsafgrøde (jordnødder) i Ghana i Vestafrika under hensyntagen til anvendelse af de bedst tilgængelige sæsonprognoser for klimaet. Projektet finansieres af Rådet for Ulandsforskning (RUF).

DMI har siden deltaget i et projekt i Letland i samarbejde med det lettiske meteorologiske institut. Projektet har til formål at udvikle et graddagesystem i Letland.

7. Uddannelse og formidling

Uddannelses- og efteruddannelsesprogrammer

Klimaændringer er et centralt emne i Copenhagen Global Change Initiative (COGCI), som er en ph.d.-skole og et forskernetværk etableret i samarbejde mellem Københavns Universitet, DMI, DMU og GEUS. Skolen har for tiden 20 ph.d.-studerende indskrevet. Undervisningen omfatter generelle og specielle kurser samt seminarer og temadage. Seminarer og temadage er åbne for offentligheden, og det er planen, at kurserne skal tilbydes andre institutter og erhvervslivet som efteruddannelse i den udstrækning, der er plads.

Der har været arrangeret et efteruddannelseskursus i klima for lærere i geografi ved gymnasier og HF, og desuden holder Klimacentrets medarbejdere foredrag for fx gymnasieelever, undervisere og forskere samt for andre interesserede. Således har centrets medarbejdere fx deltaget i Dansk Naturvidenskabsfestival i 1998 og 2000 med foredrag rundt omkring i landet.

Klimainformation

DMI formidler viden om klima til offentligheden gennem en omfattende hjemmeside på www.dmi.dk, gennem foredrag og populære artikler i aviser og fagblade, gennem Klimacentrets rapportserie samt på temadage og i bladet KlimaNyt, som udsendes to til fire gange årligt. I 2001 har centret udgivet bogen "Climate Change Research - Danish Contributions", som giver en generel indføring til problemstillingen omkring menneskeskabte klimaændringer, og som beskriver forskningsprojekter og -resultater ved en række institutioner i Danmark. Både rapporter, KlimaNyt og klimabogen kan hentes på www.dmi.dk. Endelig deltager DMI's medarbejdere jævnligt i interviews i radio og tv.

Dansk deltagelse i internationale klimaaktiviteter

DMI deltager i en række internationale forskningsprojekter med støtte primært fra EU-Kommissionens rammeforskningsprogrammer. Desuden bidrager DMI/Danmarks Klimacenter til IPCC's arbejde. Bl.a. er der i samarbejde med Max Planck Institut für Meteorologie i Hamburg gennemført beregninger af klimaudviklingen for to af IPCC's SRES-udslipsscenarier med et koblet atmosfære-oceanmodelsystem. Disse scenarier er tilgængelige til effektstudier. Medarbejdere ved DMI/Danmarks Klimacenter har desuden deltaget i udarbejdelsen af IPCC's 3. vurderingsrapport (TAR): én har været hovedforfatter, en anden medforfatter og flere har deltaget som ekspertreviewere.

Internationale samarbejdspartnere

DMI har samarbejde med mere end 300 institutioner, de fleste i Europa, men også flere inden for specielt USA.

Referencer

- Andersen, U.J., Kaas, E. and W .May, 2001: Changes in the storm climate in the North Atlantic / European region as simulated by GCM time-slice experiments at high resolution. *Danmarks Klimacenter Rapport 01-1*, DMI, 15 pp.
- Cappelen, John, Bent Vraae Jørgensen, Ellen Vaarby Laursen, Lotte Sligting Stannius og Rikke Sjølin Thomsen: The Observed Climate of Greenland, 1958-99 with Climatological Standard Normals, 1961-90. Teknisk Rapport 00-18.
- Cappelen, John and Ellen Vaarby Laursen: Daily Temperature Normals - Denmark, The Faroe Islands and Greenland. Teknisk Rapport 00-17.
- Cappelen, John and Bent Vraa Jørgensen: Observed Wind speed and Direction in Denamrk – with Climatological Normals, 1961–90. Teknisk rapport 99-13.
- Cappelen, John and Ellen Vaarby Laursen: The Climate of the Faroe Islands – with Climatological Normals, 1961-90. Teknisk Rapport 98-14.
- Christensen, J.H. og Christensen, O.B., 2001: Regional Climate Scenarios – A study on precipitation. I: Jørgensen, A.M., Fenger, J. og Halsnæs, K. (red.) Climate Change Research – Danish Contributions. DMI/Danmarks Klimacenter, København, 408 pp.
- Duun-Christensen, J.T., 1992: Vandstandsændringer i Danmark. I Fenger, J. and Torp, U. (Eds.), Drivhuseffekt og Klimaændringer - hvad kan det betyde for Danmark. Miljøministeriet, København. 288 pp.
- Frich, P., Stig Rosenørn, Henning Madsen and Jens Juncher Jensen: Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. Teknisk Rapport 97-8.
- Jørgensen, A.M., Fenger, J., Halsnæs, K. (Eds.), 2001: Climate Change Research

- Danish Contributions. DMI/Danmarks Klimacenter, København, 408 pp.
- Kaas, E., U. Andersen, R. A. Flather, J. A. Williams, D. L. Blackman, P. Lionello, F. Dalan, E. Elvini, A. Nizzero, P. Malguzzi, A. Pfizenmayer, H. von Storch, D. Dillingh, M. Philippart, J. de Ronde, M. Reistad, K. H. Midtbø, O. Vignes, H. Haakenstad, B. Hackett and I. Fossum, 2001: Synthesis of the STOWASUS-2100 project. *Danmarks Klimacenter Rapport 01-2*, DMI, 23 pp.
- Laursen, Ellen Vaarby og Stig Rosenørn: Solskinstimer i Danmark, 1961-90, Landstalsnormaler og kort. Teknisk Rapport 01-8.
- Laursen, Ellen Vaarby, Rikke Sjølin Thomsen and John Cappelen: Observed Air Temperature, Humidity, Pressure, Cloud Cover and Weather in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. Teknisk Rapport 99-5.
- Laursen, Ellen Vaarby and John Cappelen: Observed Hours of Bright Sunshine in Denmark – with Climatological Standard Normals, 1961-90. Teknisk rapport 98-4.
- 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* No. 99-2. (Available from the address: (<http://www.dmi.dk/f+u/publikation/vidrap/1999/SR99-2.PDF>))
- May, W. and Roeckner, E., A time-slice experiment with the ECHAM4 AGCM at high resolution, 2001: the impact of horizontal resolution on annual mean climate change, *Climate Dynamics*, 17, 407-420.
- Projects at DMI supported by the European Commission – DMI Technical Report 98-3, 85 pp.
- Research and Development Projects – Progress 1998 - DMI Technical Report 99-19, 1999, 122 pp.
- Stendel, M. Schmith, T., Roeckner, E. and Cubasch, U., 2000: The climate of the 21st century: Transient simulations with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Danmarks Klimacenter Rapport 00-6*, DMI, 15 pp.
- Stendel, M., Schmith, T. og Christensen, J.H., 2001: Simulations of Future Climate with a Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model. I: Jørgensen, A.M., Fenger, J., Halsnæs, K. (Eds.); *Climate Change Research - Danish Contributions*. DMI/Danmarks Klimacenter, København, 408 pp.

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. I 2000 blev Klimaforum udvidet i overensstemmelse med den danske handlingsplan "Klima 2012", og arrangementerne omfatter nu også policyemner. Der er etableret en styregruppe med deltagere fra Energistyrelsen (sekretariat), DMI, Dansk Industri og 92-gruppen.

Centret udgiver et populært nyhedsbrev, KlimaNyt, som udkommer 2-4 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 publikationer fra Danmarks Klimacenter

- Rapport 98-1** Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998. (Åbning af Danmarks Klimacenter, Referater fra workshop, Resumé af præsentationer).
- Rapport 99-1** Danish Climate Day 1999.
- Rapport 99-2** Dansk Klimaforum 12. april 1999. Workshop: Klimatisk variabilitet i Nordatlanten på tidsskalaer fra årtier til århundreder.
- Rapport 99-3** Luftfart og den globale atmosfære, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policymakers".
- Rapport 00-1** Forskning og Samarbejde 1998-1999.
- Rapport 00-2** Drivhuseffekten og regionale klimaændringer.
- Rapport 00-3** Emissionsscenarier, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Emission Scenarios, Summary for Policymakers".
- Rapport 00-4** Metoder mødes: Geofysik og emner af samfundsmæssig interesse, Dansk Klimaforums Workshop 15.-16. maj 2000.
- Rapport 00-5** A time-slice experiment with the ECHAM4 A-GCM at high resolution: The simulation of tropical storms for the present-day and of their change in the future climate.
- Rapport 00-6** The climate of the 21st century: Transient simulations with coupled atmosphere-ocean general circulation model.

- Bog** Climate Change Research – Danish Contributions. Redigeret af Anne Mette K. Jørgensen, Jes Fenger og Kirsten Halsnæs. DMI/Danmarks Klimacenter, 2001. 408 sider.
Tilgængelig fra Gads Forlag.
- Rapport 01-1** Changes in the storm climate in the North Atlantic/European region as simulated by GCM time-slice experiments at high resolution.
- Rapport 01-2** Klimadag den 26. april 2001; Klimaændringer og deres påvirkninger - Præsentation af tværfaglig bog om danske bidrag til klimaforskningen.
- Report 01-3** Synthesis of the STOWASUS-2100 project: Regional storm, wave and surge scenarios for the 2100 century.
- Rapport 01-4** Danmarks, Færøernes og Grønlands Klima. DMI's afrapportering til FN's Klimakonvention UNFCCC.
- Rapport 01-5** Danmarks vejr og klima i det 20. århundrede. John Cappelen og Niels Woetmann Nielsen.