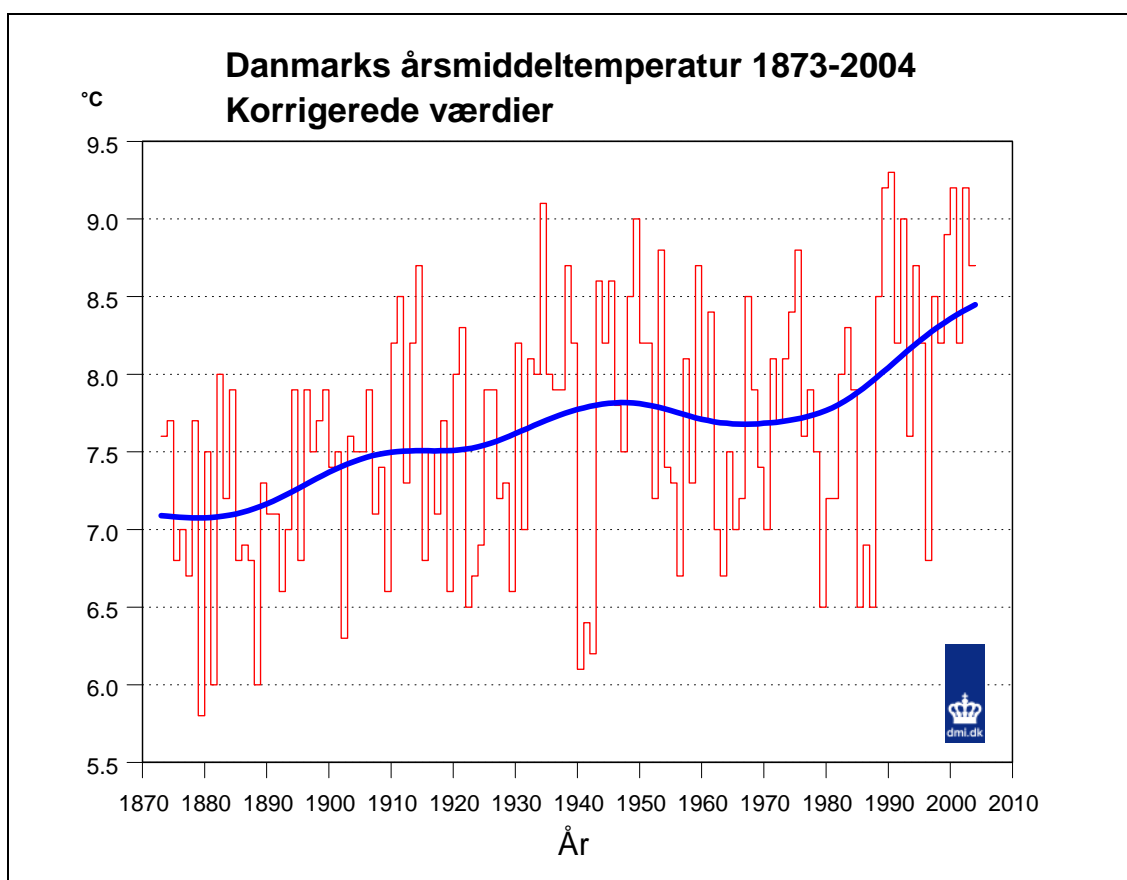


Danmarks Klimacenter rapport 05-03

DMI's bidrag til Danmarks 4. nationale afrapportering til FN's klimakonvention UNFCCC

John Cappelen og Jens Hesselbjerg Christensen





Kolofon

Serietitel:

Danmarks Klimacenter rapport 05-03

Titel:

DMI's bidrag til Danmarks 4. nationale afrapportering til FN's klimakonvention UNFCCC

Forfatter(e):

John Cappelen og Jens Hesselbjerg Christensen

Andre bidragsydere:

Anne Mette K. Jørgensen, Erik Bødtker, Erik Buch, Niels Larsen, Steffen M. Olsen, Mads Hvid Ribergaard

Ansvarlig institution:

Danmarks Meteorologiske Institut

Sprog:

Dansk

Emneord:

Danmarks 4. national rapport FN's Klimakonvention UNFCCC, Danmark, Færøerne, Grønland, Vejr, klima, fremtidens klima, klimaforskning, klimaobservationer

Url:

www.dmi.dk/dmi/dkc05-03

ISBN:

87-7478-517-6 (online)

ISSN:

1399-1957

Link til hjemmeside:

www.dmi.dk

Copyright:

Danmarks Meteorologiske Institut. Det er tilladt at kopiere og uddrage fra publikationen med kildeangivelse.

Indhold:

Abstract	5
Resumé	5
Introduktion	6
Det danske vejr	7
Lufttryksforhold	7
Temperaturforhold	7
Nedbørforhold	9
Soltimer og skydække	10
Vindforhold	11
Vandstand	12
Det færøske vejr	13
Lufttryksforhold	13
Temperaturforhold	13
Nedbørforhold	14
Soltimer og skydække	14
Relativ luftfugtighed	15
Vindforhold	15
Vejr og klima i og omkring Grønland	16
Lufttryksforhold	16
Vindforhold	16
Temperaturforhold	17
Tåge sommer og vinter	21
Nedbør	21
Skydækkeforhold	22
Soltimer	22
Vurdering af sårbarhed, effekter og tilpasning ved klimaændringer	23
Fremtidens klima	23
Fremtidige klimaændringer i Danmark	23
Fremtidige klimaændringer i Grønland	24
Fremtidige klimaændringer på Færøerne	24
Klimaforskning	25
Introduktion	25
Klimaprocesser og -studier	25
Klimamodellering og fremtidens klima	27
Systematiske klimaobservationer	29
Atmosfæriske klimaobservationer	29
Overfladeobservationsnettet	30
Radiosondenettet	31
Vejrradarnettet	31
Isobservationer	32
Satellitdata	33
Stratosfæreobservationer	41
Oceanografiske klimaobservationer	42
Terrestriske observationer relateret til klimaændringer	43
Reanalyser	43
Klimadatabase og klimatologiske datasæt	43
Udviklingsbistand til oprettelse og vedligeholdelse af observationssystemer og systemer til overvågning	43
Uddannelse og formidling	45

Uddannelses- og efteruddannelsesprogrammer	45
Klimainformation.....	45
Dansk deltagelse i internationale klimaaktiviteter	45
Referencer	46
Danmarks Klimacenter	49
Tidligere rapporter	49
Bilag A: DMI's rapport om systematiske klimaobservationer til det Globale Klimaobservationssystem (GCOS) i forbindelse med den fjerde nationalrapport under de forenede nationers rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC).....	50
Indledning	50
Systematiske observationer.....	50
Datatilgængelighed	50
Meteorologiske og atmosfæriske observationer	51
Bidrag til GCOS.....	51
GCOS Surface Network / GSN-stationer.....	51
GCOS Upper Air Network / GUAN-stationer	51
GCOS Global Atmospheric Watch / GAW-stationer	52
Klimatologiske/meteorologiske overfladestationer	52
Netværk til observation af nedbør (stationer og radar).....	54
Netværk til observation af energiindstråling og solskinstimer	55
Stationer til måling af solens ultraviolette (UV) stråler og stratosfærisk ozon.....	56
Målinger i de øvre luftlag - radiosondeobservationer	56
Isobservationer	56
Klimatologiske datasæt	56
Oceanografiske observationer.....	56
Bidrag til GCOS.....	56
Frivilligt observerende skibe / VOS.....	57
Vandstandsmålinger / GLOSS	57
Automatisk skibsbaseret radiosondeprogram (ASAP)	58
Havtemperaturer.....	58
Nationalt netværk for vandstandsmålinger	58
Farvandsovervågning	58
Terrestriske observationer	59
Observationer fra rummet	59
ESA- og EUMETSAT-satellitter og -programmer	59
GPS-data fra Ørsted-, SAC-C og CHAMP-satellitterne.....	60
Aktiviteter vedrørende observationer i udviklingslande	61
Bilag B: Oversigt over en række igangværende klimarelaterede forskningsprojekter på DMI.....	62



Abstract

Countries supporting the United Nation Climate Convention UNFCCC have to report regularly. This report is the DMI contribution concerning the fourth national communication of Denmark.

Resumé

De lande, som har tilsluttet sig FN's Klimakonvention UNFCCC, skal regelmæssigt afrapportere. Denne rapport er DMI's bidrag til den 4. afrapportering fra Danmark.



Introduktion

De lande, som har tilsluttet sig FN's Klimakonvention UNFCCC, skal regelmæssigt rapportere til Klimakonventionens sekretariat om situationen, herunder om klimaudviklingen, udviklingen i udslip af drivhusgasser, politikker til at begrænse udslip samt klimaforskning og –overvågning. Danmark har rapporteret i 1994 og 1997 og 2001. DMI har bidraget til udarbejdelsen af alle rapporter. Den nationale rapportering koordineres af Miljøstyrelsen.

Den fjerde 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;
- 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.

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. 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 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 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.

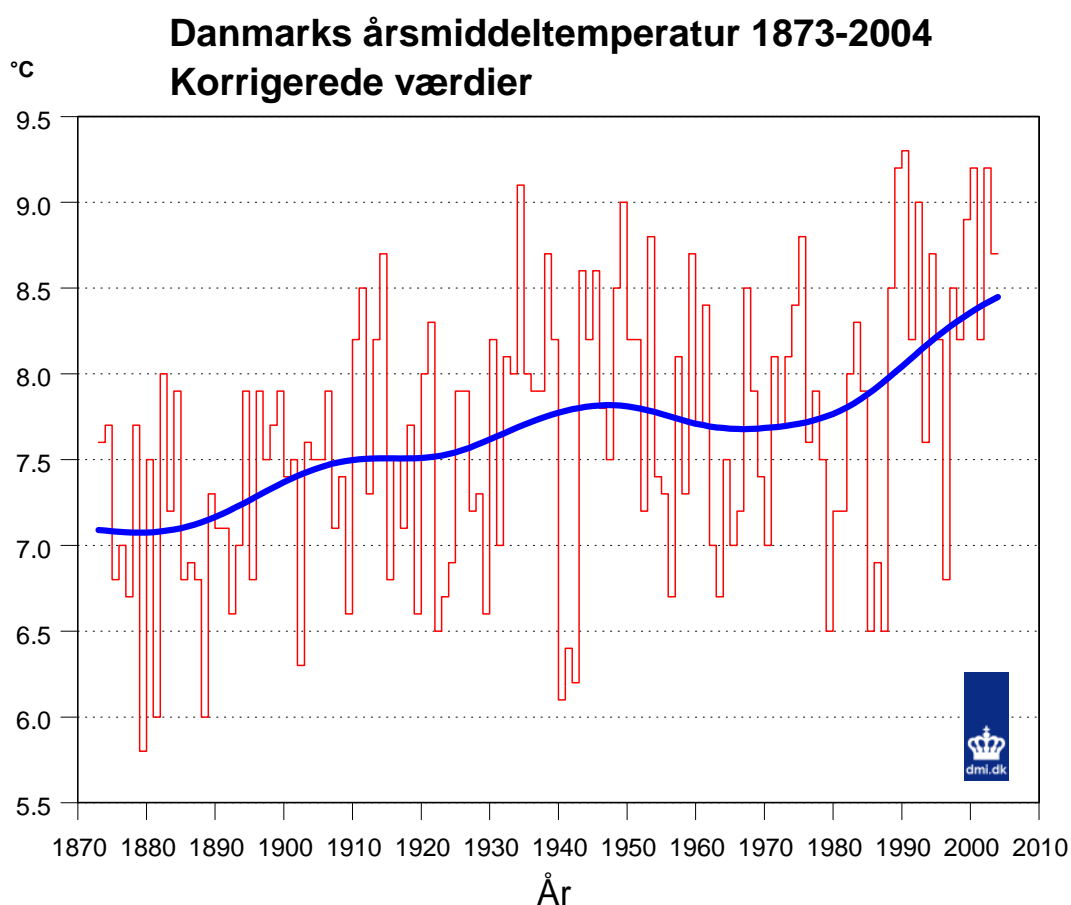
23. januar 1907 registreres det højeste luftryk i Danmark med 1062,5 hPa i Skagen, mens der blot en måned senere blev målt det laveste luftryk i Danmark - også i Skagen - den 20. februar da instrumentet viste 943,9 hPa.

Temperaturforhold

Den gennemsnitlige årstemperatur for landet som helhed er 7,7 °C (normal 1961-90), varierende fra 7,4 i det midterste af Jylland til 8,4 grader ved nogle kyster. Årsmiddeltemperaturen varierer fra år til år, fra under 6 grader til over 9 grader. 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 kraftig stigende tendens i 90'erne. DMI's statistik viser, at middelværdien af temperaturen i gennemsnit siden 1990 er ca. 8,5°C. Siden 1870 er temperaturen i Danmark steget med knapt 1,5°C. De 10 varmeste år er spredt fra 30'erne til 90'erne, og næsten alle år siden 1988 har været varmere end normalt (figur 1).

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 15 grader, men kan variere fra under 3 minusgrader til over 36 grader.

Den højeste temperatur målt i Danmark er fra 10. august 1975: 36,4 °C ved Holstebro og den laveste er fra 8. februar 1982, hvor der ved Hørsted i Thy blev registreret -31,2 °C.



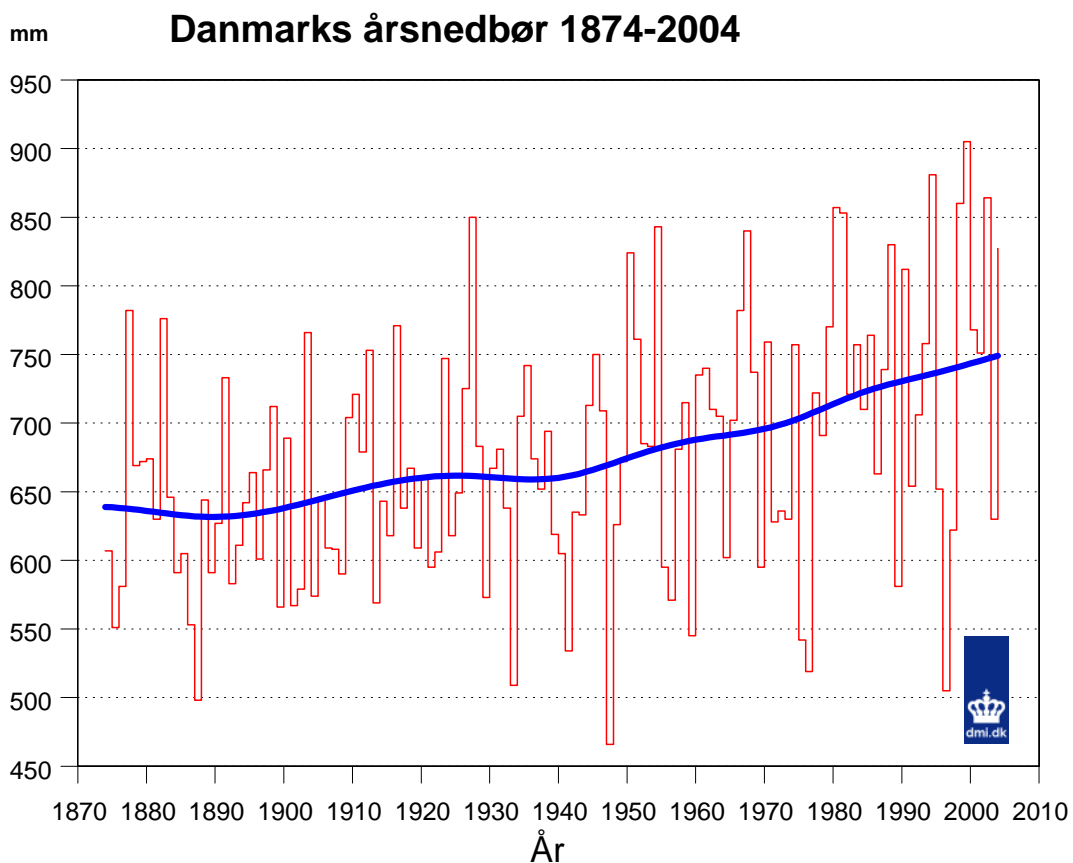
Figur 1. Danmarks årsmiddeltemperatur 1873-2004.

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Den fede kurve er 9 års Gauss-filtrede værdier (dette gælder også for de efterfølgende figurer). I 1957 ændredes stationsgrundlaget, således at en korrektion af årsværdier før 1957 blev nødvendig. Middelværdien af temperaturen i gennemsnit siden 1990 er ca. 8,5°C. Siden 1870 er temperaturen i Danmark steget med knapt 1,5°C. De 10 varmeste år er spredt fra 30'erne til 90'erne, og næsten alle år siden 1988 har været varmere end normalt.

Nedbørforhold

Den gennemsnitlige årlige landsnedbør (normal 1961-90) 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.

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 siden 1990 i gennemsnit ca. 745 mm, og den er dermed steget omkring 100 mm siden 1870 (figur 2).



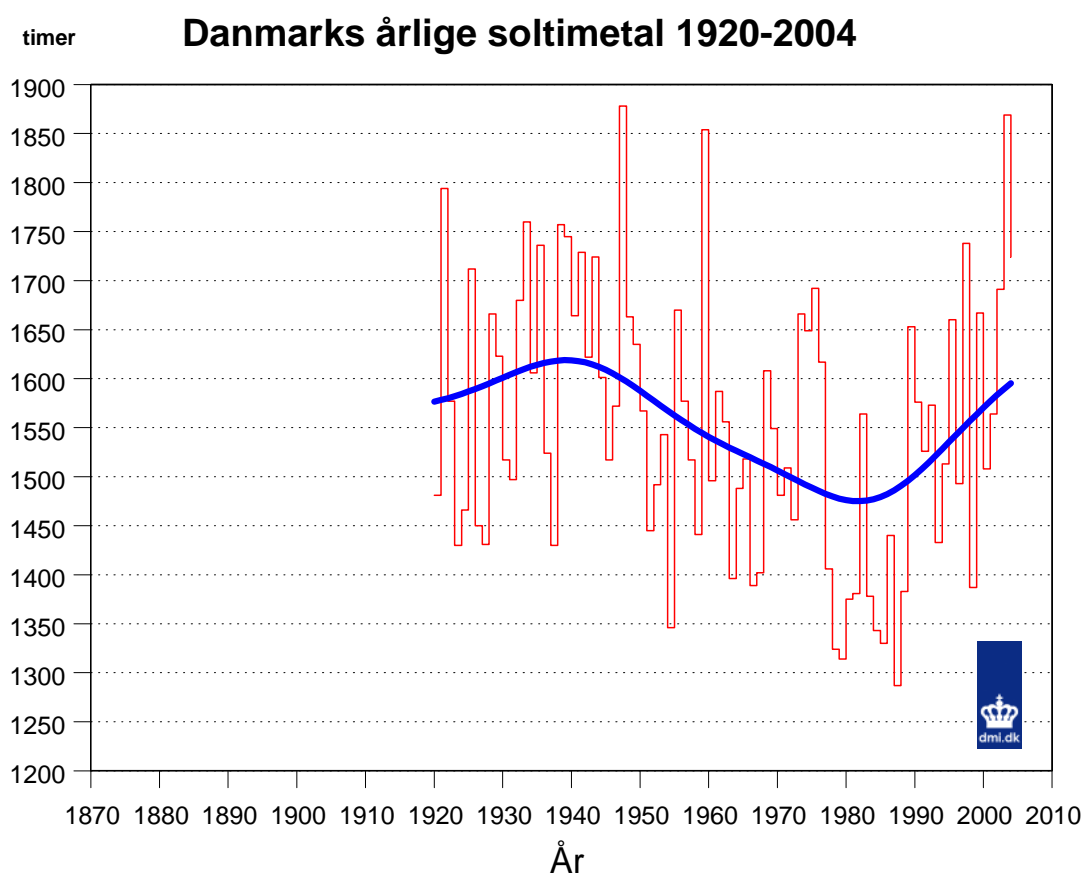
Figur 2. Danmarks årsnedbør 1874-2004.

Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Den årlige nedbør på landsplan i Danmark er siden 1990 i gennemsnit ca. 745 mm, og den er dermed steget omkring 100 mm siden 1870.

Soltimer og skydække

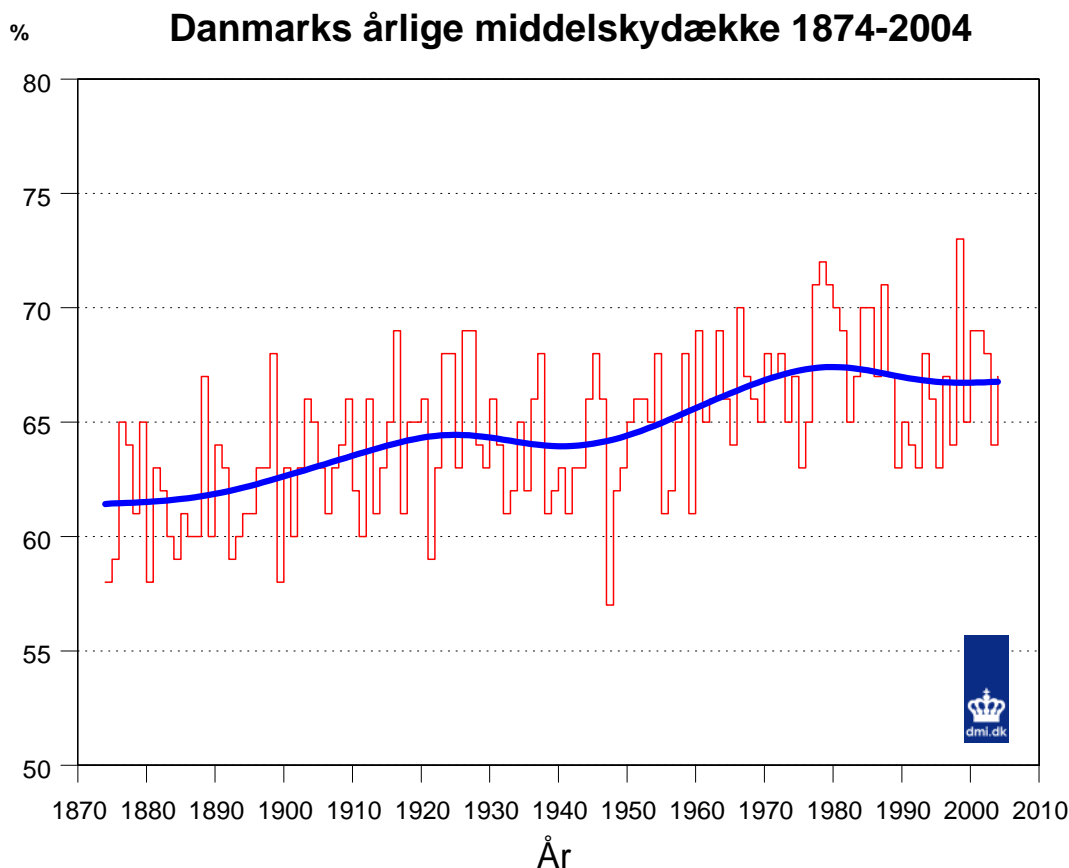
Det gennemsnitlige årlige soltimeantal for landet som helhed er 1.495 timer, men det varierer ligesom nedbøren meget fra år til år. I Kattegat-regionen og ved Bornholm skinner Solen normalt mellem 1.600 og 1.650 timer på årsbasis, mens der kommer omkring 1.350 timer i det indre af Jylland. På landsplan er det mest solrige år 1947 med 1.878 timer og det mest solfattige 1987 med 1.287 timer. Januar og december er de mest solfattige måneder med lidt over 40 timer de fleste steder, mens maj og juni er de mest solrige med i gennemsnit omkring 210 timer. Den mest solrige måned på landsplan er fra maj 1947 med 330 timer, og den solfattigste er fra december 1959 med kun 8 timer i gennemsnit. I juli 1994 skinnede Solen endda over 350 timer på Bornholm.

Det gennemsnitlige årlige skydække er 65 %. 129 dage er skyede (skydækket > 80 %) og kun 27 dage er klare (skydækket < 20 %). Skydækket og solskinstimerne har siden 1980 udvist en tendens mod flere solskinstimer og et mindre skydække (figurerne 3 og 4).



Figur 3. Danmarks årlige soltimeantal 1920-2004.

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. Solskinstimer i Danmark bliver nu målt på en anden måde end på Færøerne og i Grønland og derfor kan tallene ikke direkte sammenlignes. Det gælder også i forhold til solskinstal for Danmark publiceret før 2002.



Figur 4. Danmarks årlige middelskydække 1874-2004.

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 svagt 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).



Vandstand

Vandstanden i de danske farvande er generelt steget i de sidste 100 år. Men når der korrigeres for landbevægelser, er der ingen generel vandstandsstigning i de danske farvande. Men eftersom Danmark vipper som en følge af fortsat opløftning af undergrunden efter sidste istid, sker der en stigning i den sydvestlige del af landet med omkring 1 mm per år. Dette falder sammen med de geografisk set sårbare områder, hvor store arealer er meget lavtliggende.

Det færøske vejr

Færøerne består af 18 små bjergrige øer, beliggende på ca. 62 grader nordlig bredde og 7 grader vestlig bredde 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 Golfstrøm 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 1.008 hPa på årsbasis, lavest fra oktober til januar (1.004-1.005 hPa) og højest i maj (1.014 hPa). Det laveste registrerede var 930,3 hPa 11. januar 1993, og det højeste var 1.048,9 hPa observeret 13. december 1995. 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 almindelig 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 målt er 26,3°C ved Vága Floghavn i juli 2003. Om vinteren er temperaturen lejlighedsvis under frysepunktet. Den laveste temperatur målt er -12,3°C, også målt ved Vága Floghavn i marts 2001.

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

Nedbørforhold

Den årlige nedbør i Tórshavn er 1.284 mm, mest i efteråret og mindst om sommeren.

Der er store geografiske variationer i nedbøren hovedsagelig 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 mest bjergrigt, falder over 3.000 mm, ved Hvalvík næsten 3.300 mm. Man regner endda med, 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). Nedbørdage 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 ligget på et nogenlunde stabilt leje.

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 højeste 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, men med en svagt stigende tendens i sidste del af perioden.

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.

Selvom klimaet generelt er blæsende, er der dog også stille perioder, mest om sommeren og gerne i korte perioder.

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 trykekestremer på Grønland findes i vinterperioden grundet de store temperaturkontraster i atmosfæren. Det højeste luftryk målt på 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 accelereres 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 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 på ca. 2.600 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 temperatur-forholdene 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 for en november måned på 13,9 °C (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. Det varmeste registreret i Grønland siden 1958 er 25,5 °C i juli 1990 ved "indlandsstationen" i Kangerlussuaq.

Der kan overalt i Grønland forekomme frost i alle årets måneder undtagen dybt inde i fjordene ved Narsarsuaq Lufthavn og Kangerlussuaq i et par af sommermånederne. Den "frostfrie" periode ("frostfrie" fordi der er forekommet enkelte tilfælde af frost) i det sydlige Grønland er fra 60 til 115 dage.

Det koldeste sted i Grønland er selvfølgelig på Indlandsisen, hvor temperaturen sandsynligvis kan nå ned under -70 °C. En britisk forskningsstation har i 50'erne målt -70 °C og en DMI-station ved Summit midt på Indlandsisen har målt -63 °C i december 1991. Udover indlandsisen er de koldeste målestationer i Grønland ubetinget Hall Land og Kap Morris Jesup på nordkysten med årsmiddeltemperaturer på henh. -19,6 °C og -18 °C. I januar 1989 nåede temperaturen på Hall Land ned på -52,1 °C og sikkert endnu lavere, da denne type station ikke måler absolut minimumtemperatur.

Kombinationen af lave temperaturer og vindhastighed - kaldet wind chill faktor eller kuldeindex - spiller en væsentlig rolle i Grønland. Faktoren er et udtryk for den temperatur, vi tilsyneladende oplever som funktion af den målte aktuelle temperatur og vindhastigheden. Vinden reducerer den legemsvarme, vi prøver at opretholde - jo større vindhastighed, des større varmetab.

Af figur 5 og 6 kan det ses at temperaturerne i Grønland i de sidste 125 år har vist en svagt stigende tendens, men på en kortere skala fra 40'erne har der været generelt faldende temperaturer, mest markant på vestkysten, der først i de senere år har vist stigende tendens. På østkysten har der dog været en stigende tendens siden midt i 70'erne. Det nuværende temperaturniveau ligger nu blandt de højeste i serierne. Figurerne viser også at i 2003 var der rekordhøje årstemperaturer flere steder i Grønland.

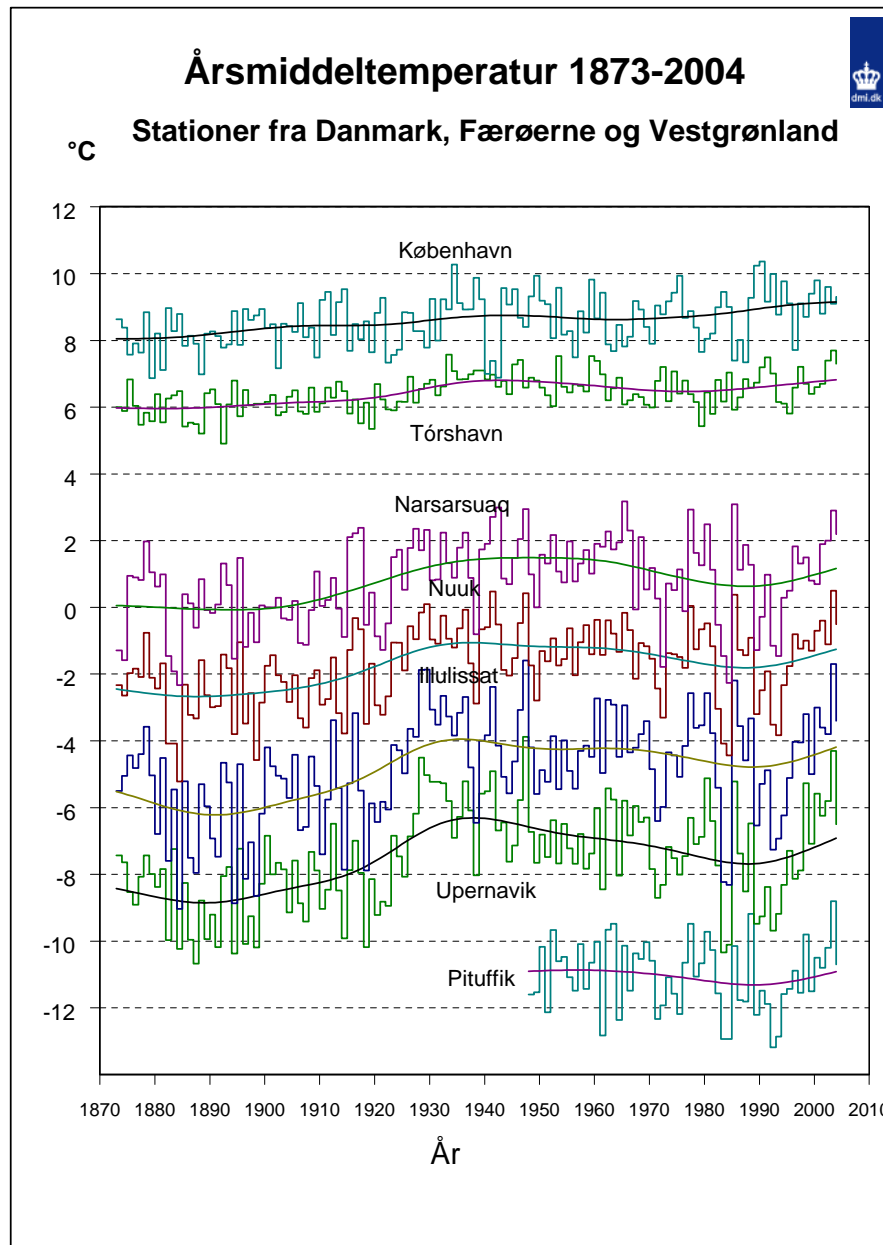


Fig. 5 Årsmiddeltemperaturen 1873 – 2004 for målestationer i Danmark, på Færøerne og i Vestgrønland

Siden 1873 er temperaturen i København og Torshavn 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.

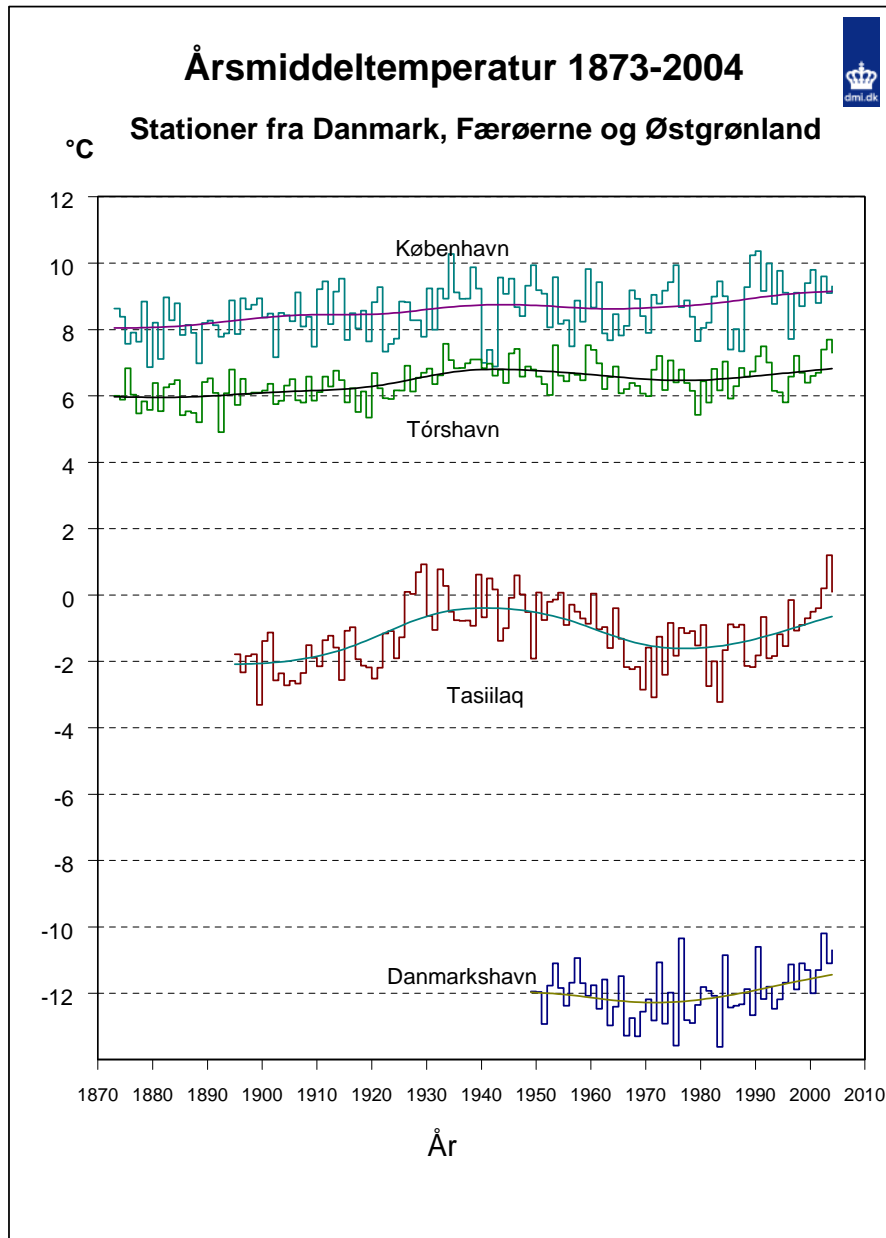


Fig. 6 Årsmiddeltemperaturen 1873 – 2004 for målestationer i Danmark, på Færøerne og i Østgrønland
Ved Tasiilaq udviser temperaturen en stigning indtil ca. 1940, derefter et fald, og siden midt i 90'erne igen en stigende tendens.

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 nedbørfordeling. 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 osv.

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 fordamningen om sommeren kan overstige nedbørmængden. Nedbøren i Kangerlussuaq er kun 149 mm på årsbasis.

Det samme mønster findes i nedbørdøgn og nedbørekstremer. Ikke overraskende er den største målte nedbør inden for et døgn - 183,5 mm - registreret ved Prins Christians 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 nedbørekstremer 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 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 tropenerne, tilbagekastes en betydelig del af energien pga. af den skrå indfaldsvinkel og de sne- og isdækkede overflader.

Vurdering af sårbarhed, effekter og tilpasning ved klimaændringer

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 forskellige internationale samarbejdsprojekter) gennemført globale og regionale beregninger for flere scenarier for fremtidige udslip af drivhusgasser og aerosoler, nemlig IPCC's IS92a-Business-as-Usual scenario og flere scenarier fra IPCC's særrapport (SRES-2000) om udslipsscenarioer (Christensen, 2000; Stendel et al., 2000; Stendel et al., 2001; Christensen and Christensen, 2001, 2003, 2004; May, 1999; May, 2001, Andersen et al. 2001; Christensen et al. 2002; Christensen 2005).

Det skal bemærkes, at der er usikkerheder forbundet med vurdering af fremtidige klimaændringer, især fremskrivninger af nedbør og ekstreme vejrfænomener som storm og stormflod. DMI's modeller viser en klimafølsomhed på ca. 3 °C for en fordobling af atmosfærens kuldioxidindhold, men nye beregninger, som er publiceret i Nature (Stainforth et al, 2005) viser, at usikkerheden på klimafølsomheden kan være betydeligt større end hidtil antaget.

Fremtidige klimaændringer i Danmark

Beregninger med globale og regionale klimamodeller viser følgende generelle udvikling for klimaet i Danmark for 2071-2100 i forhold til 1961-1990:

- En stigning i den årlige gennemsnitstemperatur på 3-5°C, lidt afhængigt af det valgte scenario for udslip af drivhusgasser. Opvarmningen er størst om natten. Der er kun lille forskel på temperaturstigningen sommer og vinter. Stort set følger opvarmningen den globale temperaturstigning.
- En moderat stigning i vinternedbøren (1,1 – 1,4 gange den nuværende) og formentlig et mindre fald i sommernedbøren (0,75 – 0,9 gange den nuværende). En tydelig tendens til flere episoder med meget kraftig nedbør, især om efteråret, og længere perioder med tørke, især om sommeren.
- 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. Selv om det er meget usikkert, viser efterfølgende beregninger med stormflodsmodeller, at den højeste vandstand i de største stormfloder kan stige med 5-10% (ca. 0,3 m for Vestkysten) i forhold til i dag (Kaas et al. 2001; Christensen 2005). Hertil kommer stigninger pga. den generelle vandstandsstigning.

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. Hertil kommer ændringer som følge af ændrede oceaniske strøm-, temperatur- samt vindforhold, jf. ovenfor. 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

Beregninger med globale og regionale klimamodeller (May, 1999; Stendel et al., 2000; Kiilsholm 2003) viser følgende generelle udvikling for klimaet i Grønland i perioden 2071-2100 i forhold til 1961-1990 for et B2 scenario:

- 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 svarende til 1,1 – 1,5 gange de nuværende værdier. Om vinteren er stigningen dog væsentligt større i Nordgrønland, lokalt op til over 200%.

Fremtidige klimaændringer på Færøerne

Beregninger med globale klimamodeller (May, 1999; Stendel et al., 2000) viser følgende generelle udvikling for klimaet på Færøerne i 2071-2100 i forhold til 1961-1990:

- 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. 1,3 gange de nuværende værdier, men kun små eller ingen stigninger om sommeren.

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 Organisation (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), og DMI deltager i Network for the Detection of Stratospheric Change (NDSC). Den danske forskning bidrager til en lang række af de internationale projekter under World Climate Research Programme, som fx Climate and Cryosphere (CliC), 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, og flere forskere er aktive i udarbejdelsen af den 4. hovedrapport (AR4), som udkommer i 2007. En er ledende forfatter til et kapitel om fremtidens regionale klima. Endvidere har DMI medvirket ved udarbejdelsen af de seneste to tilstandsrapporter om ozonlagets tilstand under WMO og FN's miljøprogram (UNEP).

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

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

Forskningen ved DMI finansieres væsentligst af EU-Kommissionens rammeprogrammer for forskning og teknologisk udvikling, men også danske forskningsråd og institutioner bidrager.

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:

- ”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 som dataanalyse og modellering. DMI’s bidrag er i samarbejde med Grønlands Naturinstitut koncentreret om de grønlandske farvande med specielt henblik på at forklare variationer i fiskebestande ud fra ændrede klimatiske og hydrografiske forhold. Der er lagt speciel fokus på transporten af torskelarver fra de islandske gydeområder til de grønlandske farvande samt udviklingen af den vestgrønlandske rejebestand.
- ”Meridional Overturning Exchange with the Nordic Seas (MOEN)”: Som konsekvens af stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren og en forøget hydrologisk cyklus forventes en gradvis reduceret intensitet af Atlantens meridionale cirkulationssystem over det 21. århundrede. Delkomponenter af systemet inkluderer den klimatiske vigtige Nordatlantiske Strøm, dybvandsdannelsesprocesser i de Nordiske Have og Labradorhavet samt spredning af tungt dybvand fra dannelsesområderne. MOEN vil evaluere effekten af antropogene klimaændringer på oceanets meridionale cirkulation igennem løbende observationer og modellering af udvekslingen mellem Nordatlanten og De Nordiske Have. DMI har til opgave at studere variabiliteten og den senere udvikling igennem ensemble-simulering af udvekslingen over Grønland-Skotland Ryggen fra 1948–2002. Ensembleeksperimenterne er designet med sigte på at evaluere afhængigheden af initialtilstanden for den modellerede udvikling samt at kvantificere effekten af den dokumenterede tendens til øget flodtilstrømning til det Arktiske Ocean, en tendens der anses at være koblet til global opvarmning.

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 tillige 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 arbejder endvidere med undersøgelser af processer i den tropiske tropopause, der regulerer vanddamptilførslen til stratosfæren, og der arbejdes med modeller for flytrafiks indvirkning på klimaet.

DMI har således deltaget i alle større europæisk-amerikanske arktiske ozonforskningskampagner gennem 1990'erne som EASOE, SESAME, THESEO og THESEO-2000/SOLVE samt i den tropiske HIBISCUS kampagne. DMI's stratosfæreforskning 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 samt eksperimentelt og modelteoretisk arbejde vedrørende dannelse af polar-stratosfæriske skyer. 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 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 forårs månederne med udvikling af egentlige ozonhuller over de arktiske områder til følge, i lighed med hvad der opstår hvert sydpolart forår over Antarktis. Den arktiske ozonnedbrydning i vinter- og forårs månederne har indflydelse på den kumulerede dosis af UV-stråling i Danmark i den efterfølgende halvårssæson af betydning for human sundhed, planteproduktion og materialeskader. Der arbejdes på metoder til forudsigtelse af denne UV-påvirkning under klimatiske forandrede betingelser. Der arbejdes endvidere eksperimentelt og modelteoretisk med cirrus-skyer i det tropiske tropopauselag samt indvirkning af flytrafik på cirrus-dannelsen. De tropiske cirrus-skyer spiller en afgørende rolle for vanddamptilførslen til stratosfæren. Den stratosfæriske vanddamp har en stor klimamæssig indvirkning, ligesom cirrus-skyerne har en direkte klimapåvirkning.

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 fremtiden 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 gennemført såvel globale som regionale scenarie-beregninger for Danmark, Færøerne og Grønland baseret på IPCC's såkaldte SRES udslips-scenarier - 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" og nye scenarier beregnes til brug i IPCC's 4. vurderingsrapport. De regionale simuleringer for Danmark og Grønland er bl.a. dokumenteret i Christensen and Christensen (2003) og Kiilsholm et al. (2003). 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 samt ændring i permafrost forhold af særlig interesse.

I det europæiske klimaprojekt PRUDENCE (Christensen et al. 2002; 2005; se endvidere <http://prudence.dmi.dk>), som blev koordineret af DMI blev der arbejdet med mere end 10 regionale klimamodeller til at kvantificere usikkerhed i forbindelse med klimaprojektioner for fremtidens klima. Her blev det bl.a. påvist at DMI's regionale modelsystem er repræsentativ for hovedparten af de medvirkende modeller og konklusioner baseret på simuleringer med denne model kan betragtes som værende vel inden for spredningen blandt modellerne.

Scenarierne (også fra PRUDENCE) er stillet til rådighed for alle forskergrupper, der studerer virkningerne af klimaændringerne samt til beslutningstagerne i forbindelse med udarbejdelse af en dansk strategi for tilpasning til 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 inden for 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 samt deltaget i "Ozone as a Climate Gas" finansieret af Nordisk Ministerråd.

Systematiske klimaobservationer

Atmosfæriske klimaobservationer

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

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. Siden 2001 har der ikke været opereret med et særskilt net for klimaobservationer, idet der har været en teknologisk konvergens mellem nettyperne og et stærkt ønske om effektivisering af målenettet. Stationsnettene er vist i figurerne 8-14.

Det hidtidige manuelle målenet er nu næsten 100% erstattet af automatiske målestationer. Målet med dette har været 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 større ensartethed 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 ca. 450 manuelle nedbørsstationer der især bruges til kortlægning af nedbørsklimatologien. Målingerne indsamles dagligt via telefonnettet og er derved til rådighed kort tid efter at målingen er foretaget. Det danske observationsnet udmærker sig ved en høj gennemsnitlig datatilgængelighed (tabel 1).

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).

Automatiske vejrstationer, inklusive Grønland og Færøerne	98,6 %
Satellitmodtagelse	98,6 %
Vejrradar	98,7 %
Radiosondering, Danmark/Færøerne	95,9 %
Radiosondering, Grønland	97,6 %
Stormflodsstationer	98,9 %

Tabel 1. Gennemsnitlig datatilgængelighed i 2004.

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. Den daglige tilgang af observationer fra rigsfællesskabet er ca. 75.000, og det samlede antal observationer i databasen er omkring 300.000.000.

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 450 manuelle nedbørststationer, og 5 flyvestationer og luft-
havne hvor der er et lovgivningsmæssigt krav om manuelle observationer er nettet 100% automatiseret. 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.

Type	DMI			Samarbejdspartnere		
	Danmark	Grønland	Færøerne	Danmark	Grønland	Færøerne
Vejrstationer	50	25	4	21	20	0
Automatiske nedbørstationer	0	0	0	79	0	0
Manuelle nedbørstationer	452	1	8	0	1	18
Strålingsmålere	19	0	0	6	0	0
Automatiske vandstandsstationer	15	0	1	65	0	0

Tabel 2. Oversigt over overfladeobservationsnettet.

Ud over observationer fra de danske landområder har DMI observationsaftaler med knapt 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 indgår også i og bliver 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 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.

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 radarata op mod overfladebaserede punkt nedbørsmålinger 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 $2 \times 2 \text{ km}^2$.



Figur 7. Vejrradar på Stevns

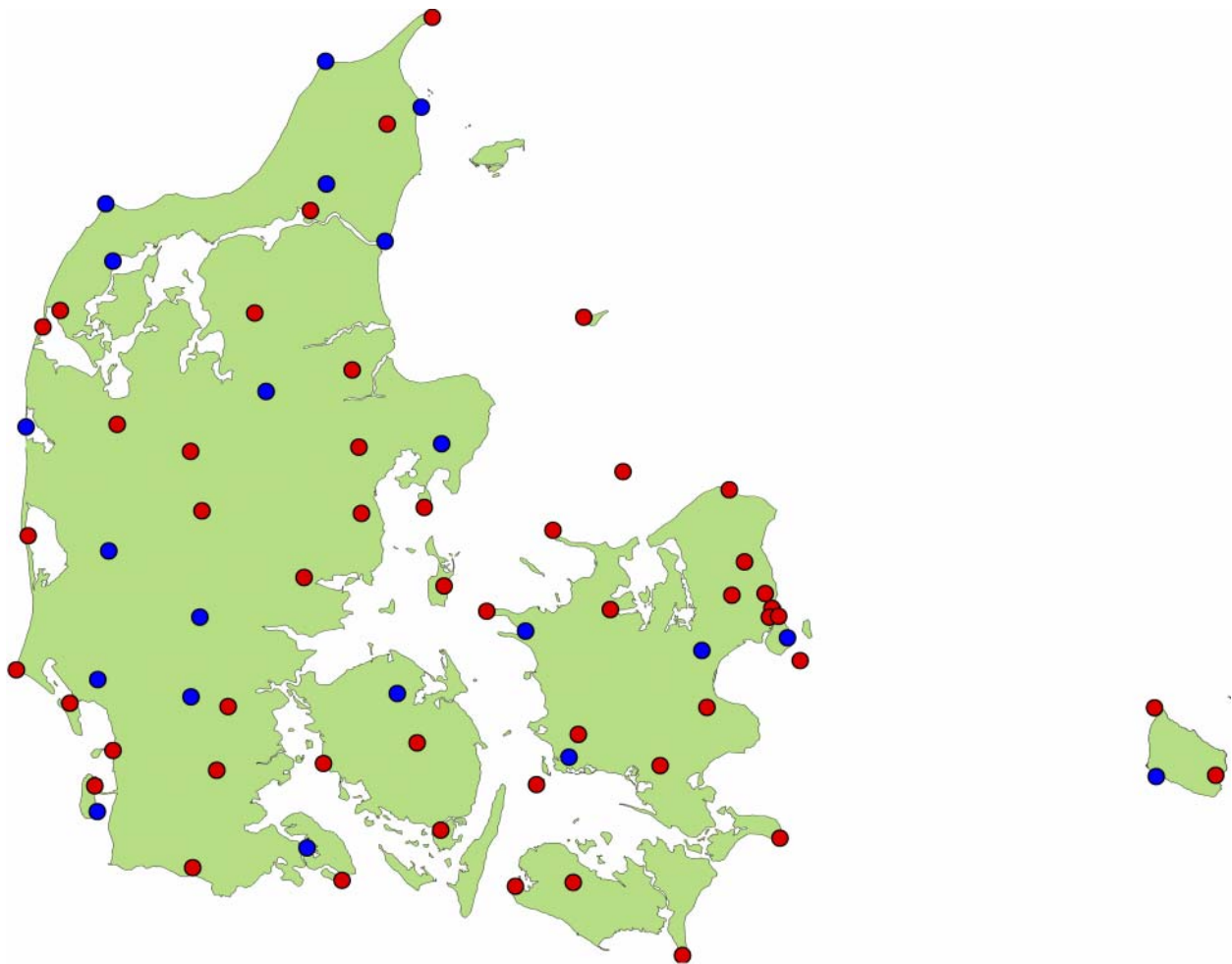
Isobservationer

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.

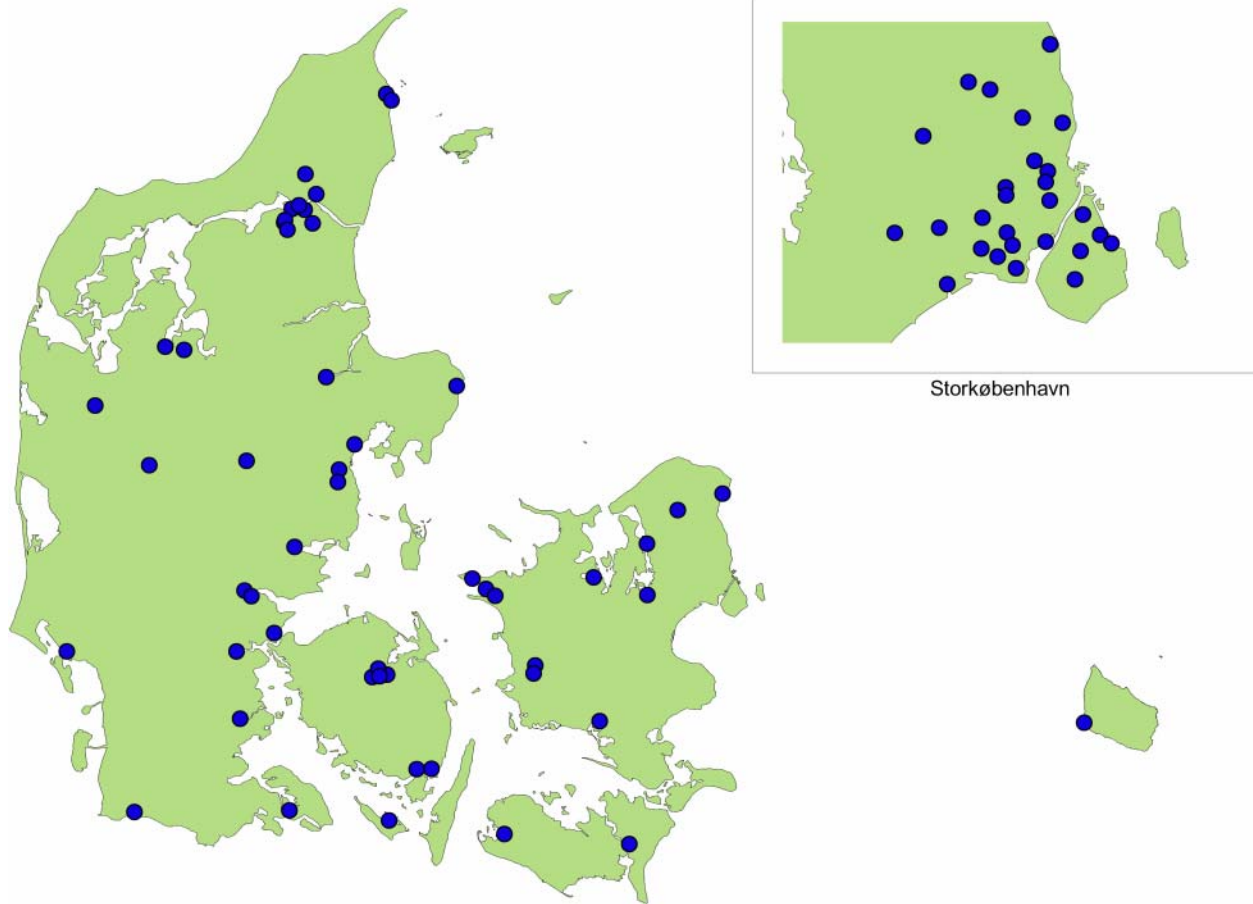
Satellitdata

Danmark bidrager til de rumbaserede observationer gennem medlemskab af den europæiske rumfartsorganisation ESA og den europæiske meteorologiske satellitorganisation EUMETSAT, og DMI har faciliteter til modtagning af satellitdata i Danmark og Grønland.

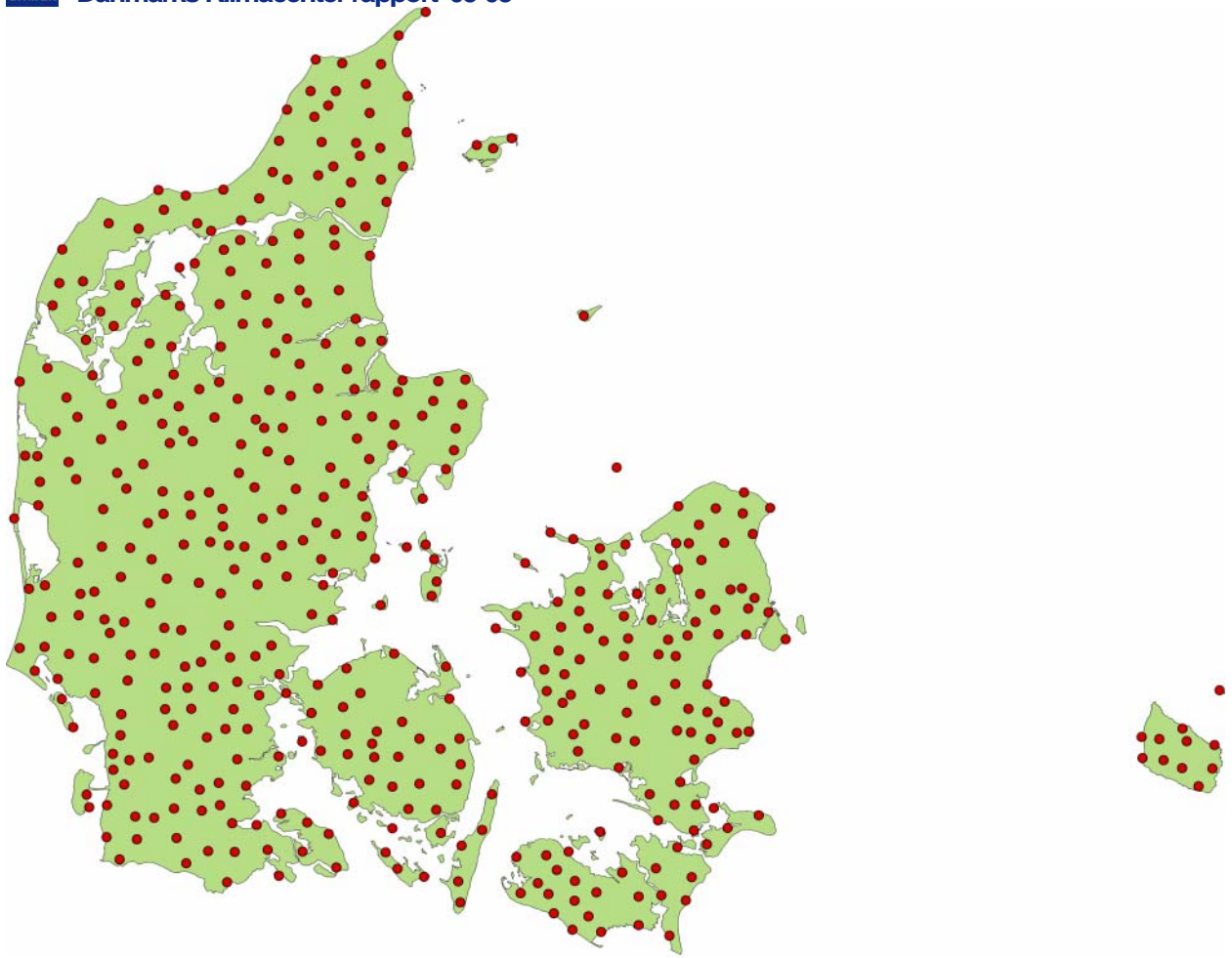
Inden for EUMETSAT-samarbejdet leder DMI udviklingen af en såkaldt satellitapplikationsfacilitet (SAF) for brug af GPS-data til vejr- og klimaovervågning, og instituttet deltager endvidere i udvikling af SAF'er for oceanografi og havis samt ozon og UV-stråling.



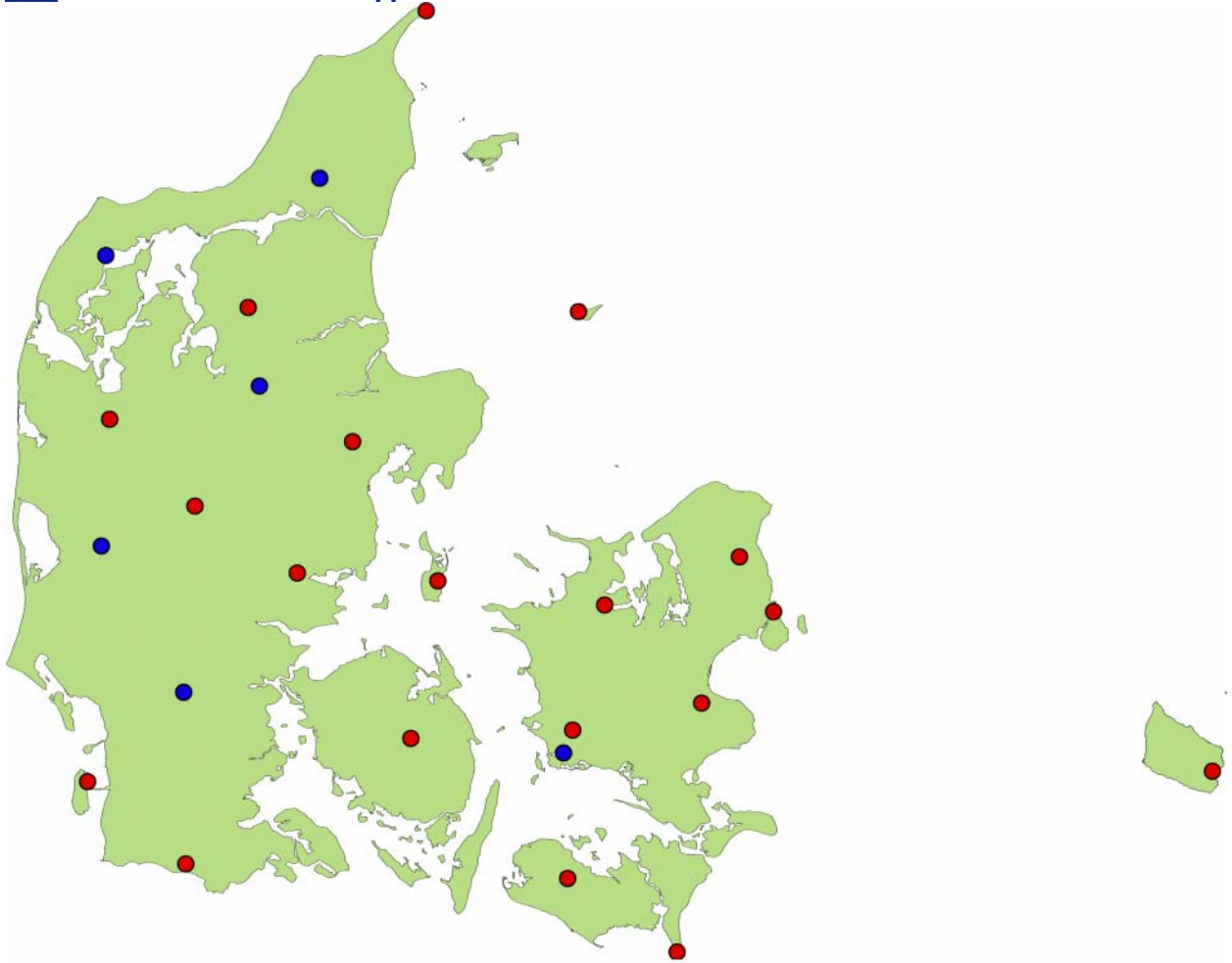
Figur 8. DMI's net af vejrstationer i Danmark. Rød plet: DMI station, blå plet: Samarbejdspartner. (Denne farvekode gælder for alle stationskort).



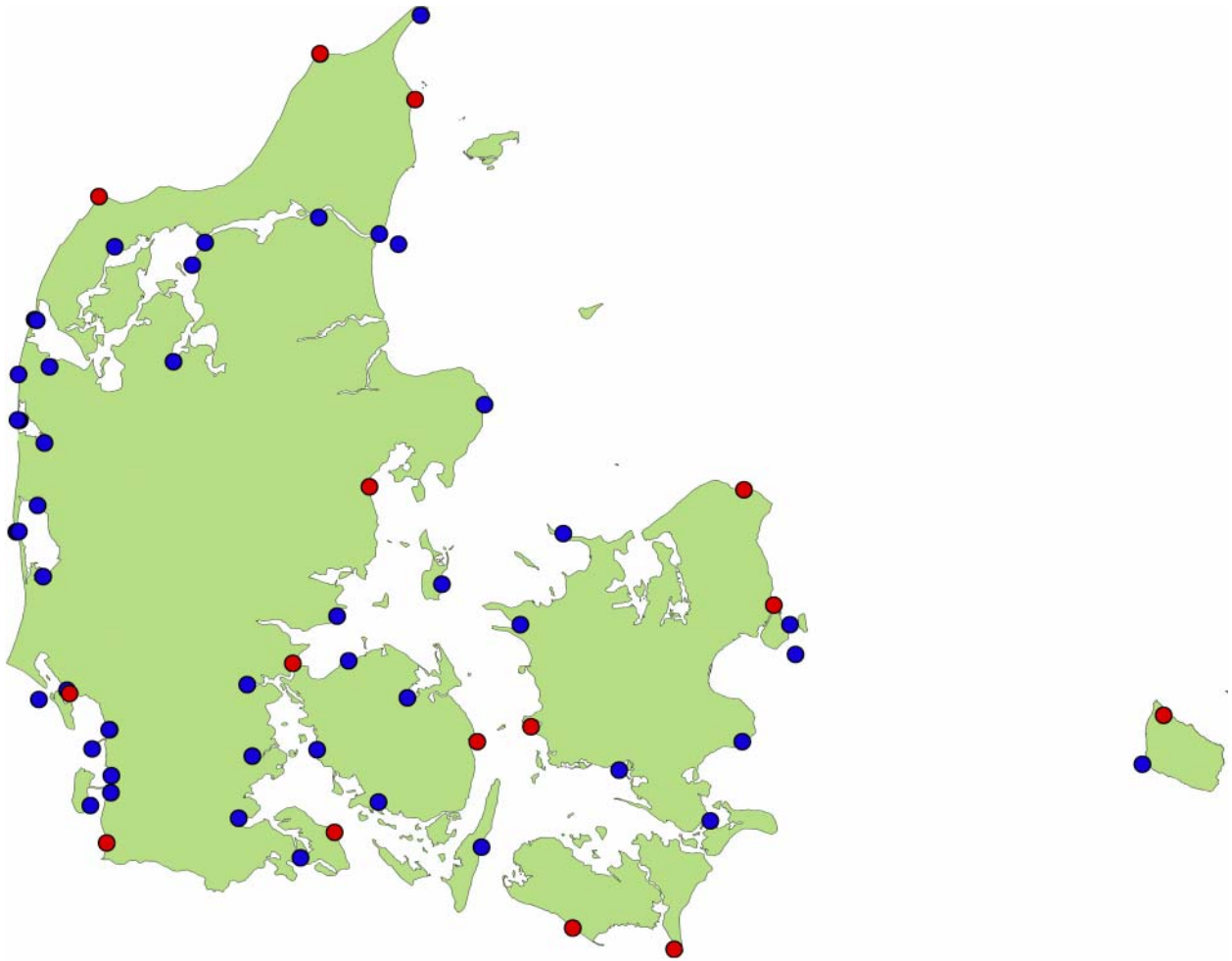
Figur 9. DMI's net af automatiske nedbørsintensitetsmålere i Danmark. Det indsatte kort viser målestationerne i Københavnsområdet. Blå plet: Samarbejdspartner.



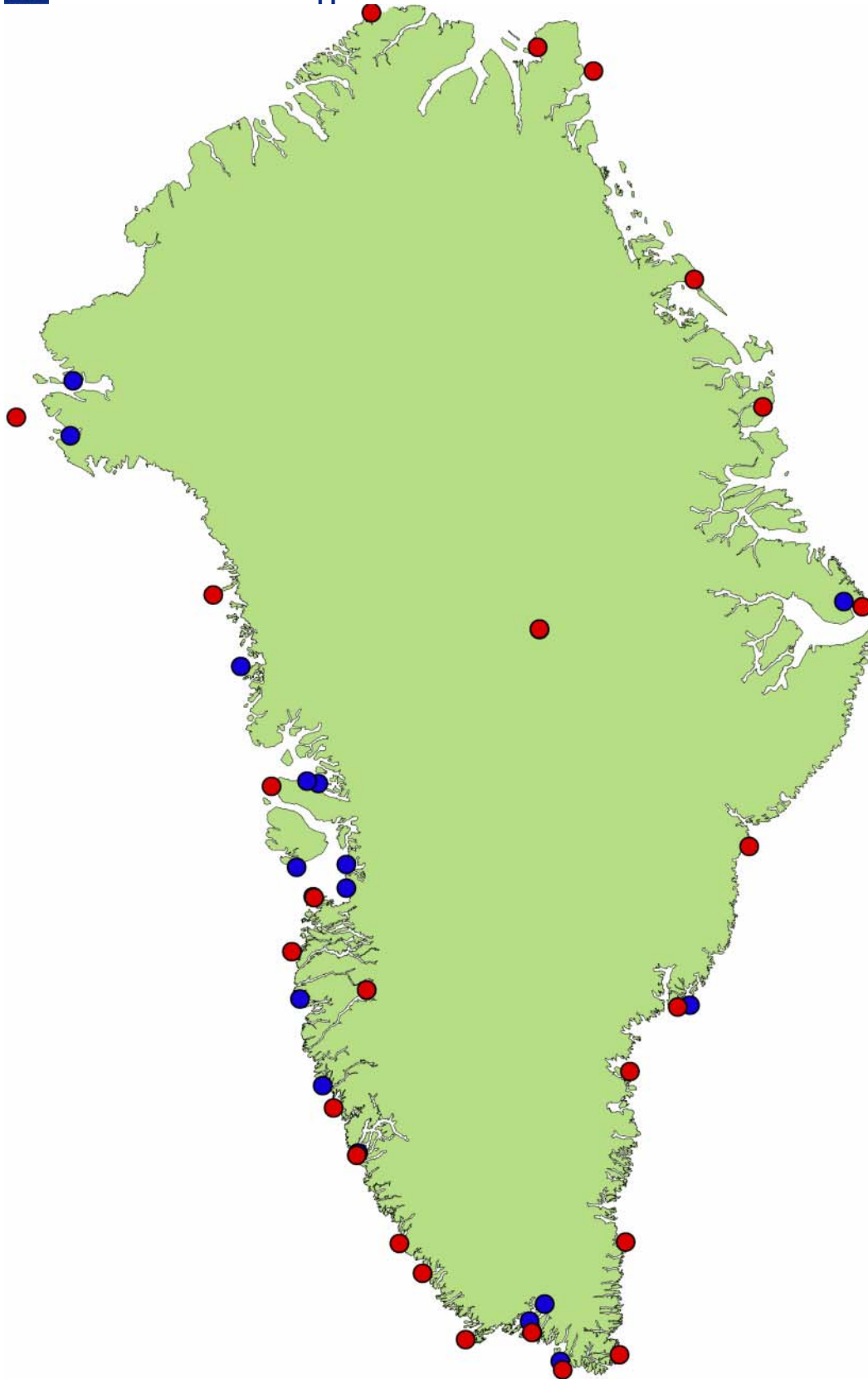
Figur 10. DMI's net af manuelle nedbørsmålere.



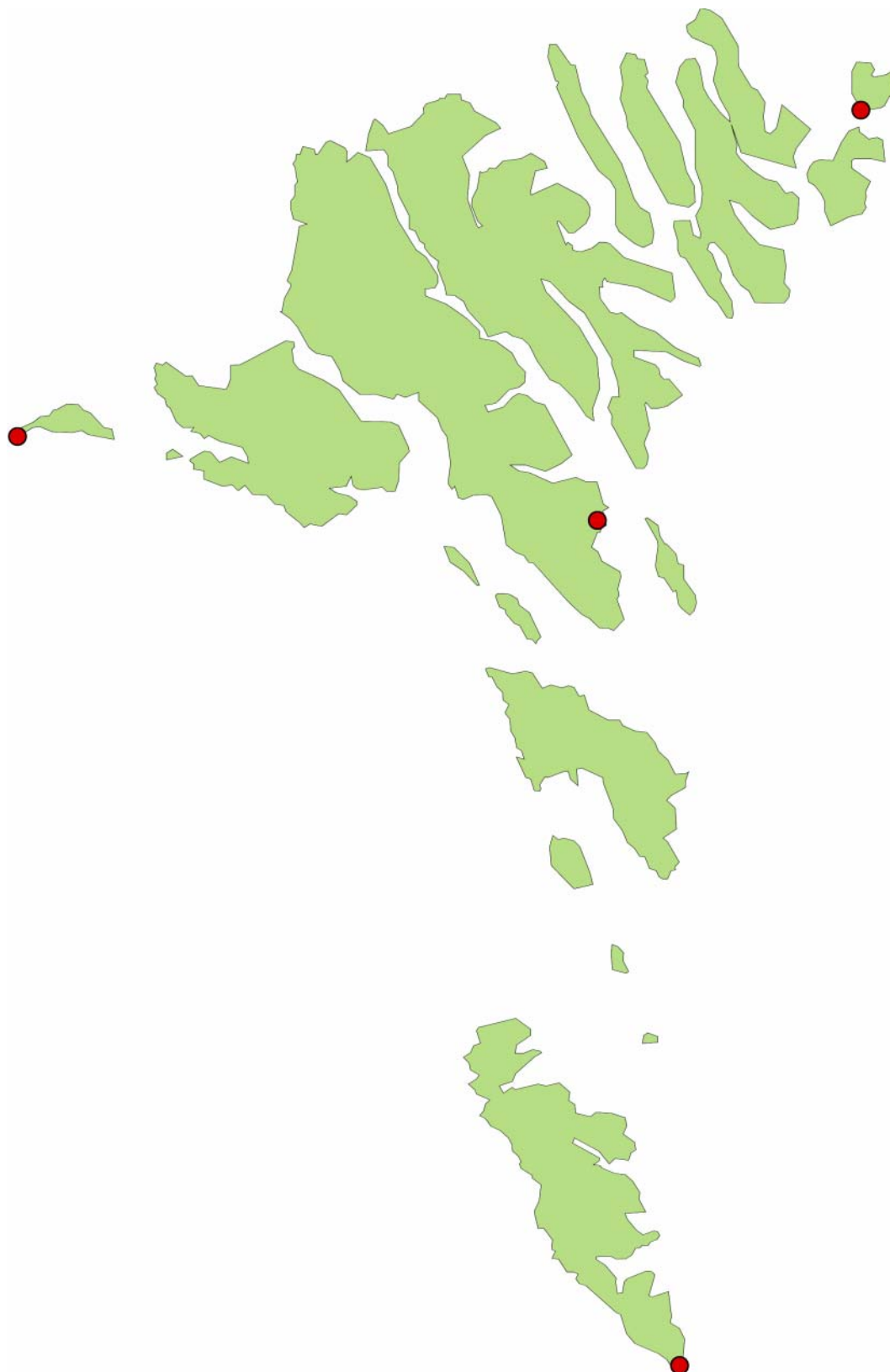
Figur 11. DMI's net af strålingsmålere i Danmark. Rød plet: DMI station, blå plet: Samarbejdspartner.



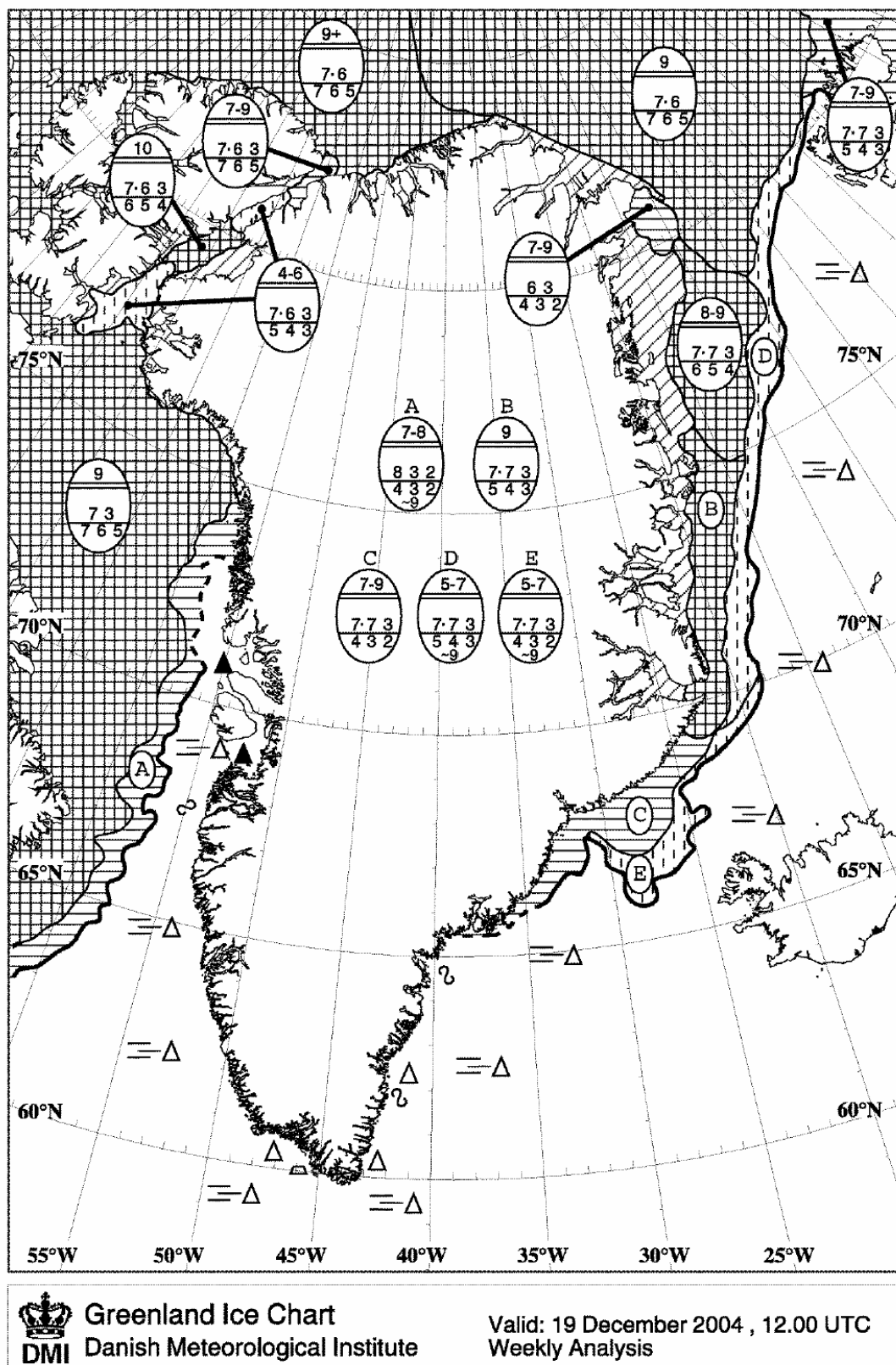
Figur 12. DMI's net af automatiske vandstandsstationer i Danmark. Rød plet: DMI station, blå plet: Samarbejdspartner.



Figur 13. DMI's net af aut. vejrstationer i Grønland. Rød plet: DMI station, blå plet: Samarbejdspartner.



Figur 14. DMI's net af automatiske vejrstationer på Færøerne.



Figur 15. Eksempel på oversigts-iskort.

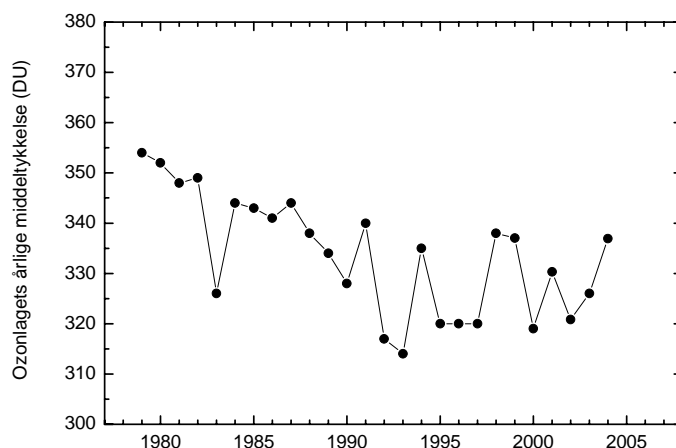
Stratosfæreobservationer

DMI beskæftiger sig med studier af de fysiske processer, der fører til forandringer i ozonlaget samt stratosfærisk monitorering af relevans for det fremtidige klima. DMI's forskning og systematiske observationer understøttes af Montreal-protokollens anbefalinger og er et led i den forskning, som Danmark har forpligtet sig til ved ratificering af Wiener-konventionen af 22. marts 1985 om beskyttelse af ozonlaget.

Der foretages målinger af ozonlaget og UV strålingen i København og Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord) med Brewer ozonspektrometre. I Pituffik (Thule) foretages målinger af ozonlaget, UV stråling, globalstråling, aerosoler og stratosfærisk NO₂ i Pituffik (Thule) ved anvendelse af Dobson spektrometer, SAOZ spektrometer, UV spektrometer, pyranometer og aerosolradiometer. For at måle ozonnedbrydningen i den nedre stratosfære i vinter- og forårmånederne og for opbygningen af en ozonprofil-klimatologi har DMI opsendt ozonsonder fra en række stationer i Grønland siden 1989. Siden januar 1993 er der opsendt ugentlige ozonsonder fra Ittoqqortoormiit (Scoresbysund) på Grønlands østkyst.

DMI's observatorier i Grønland indgår som primære (Pituffik og Kangerlussuaq) og sekundære (Ittoqqortoormiit) Arktiske stationer i NDSC-netværket (Network for the Detection of Stratospheric Change, et 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. DMI samarbejder her med National Center for Atmospheric Research (NCAR) i Boulder (FTIR instrument i Pituffik), Universitetet i Rom (Lidar i Pituffik), National Radiological Protection Board, UK (UV radiometre i Pituffik) og SRI-International, USA (lidar i Kangerlussuaq).

DMI's målinger rapporteres til databaserne under NDSC samt World Ozone and UV-radiation Data Center under WMO-programmet Global Atmosphere Watch og anvendes bl.a. til verifikationer af satellitdata samt ved sammenligning med resultater fra klimamodeller.



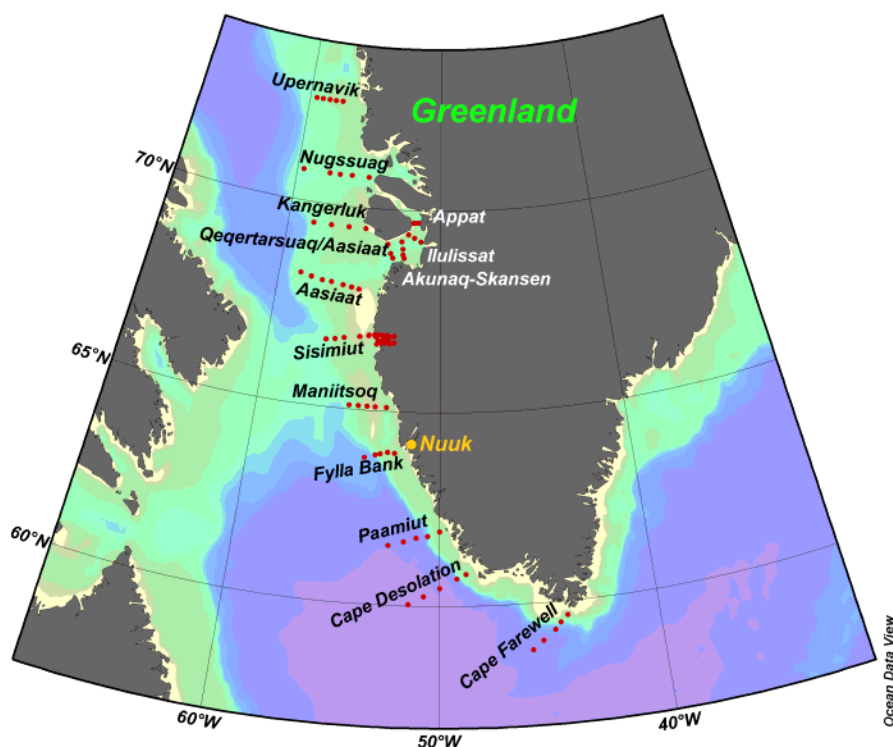
Figur 16. Årlig middeltykkelse af ozonlaget over Danmark i årene 1979-2004. Målinger til og med 1992 stammer fra NASA's TOMS instrument, medens målinger efter 1992 er foretaget med DMI's Brewer-instrument i København.

DMI/DKC samarbejder med det fælles europæiske meteorologiske regnecenter i Storbritannien, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts om 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.

Oceanografiske klimaobservationer

DMI overvåger sammen med Kystdirektoratet, farvandsvæsenet og lokale myndigheder 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 monitere klimaforandringer i det grønlandske marine miljø med henblik på anvendelse i vurderinger af det fremtidige fiskeri-grundlag. I de senere år er dette program udvidet med fjordstationer omkring Sisimiut med henblik på at forklare det relative nye krabbefiskeri. Desuden oparbejder DMI oceanografiske data fra Grønlands Naturinstitut årlige trawl-togter. Målestationerne er vist i figur 17.



Figur 17. Standard hydrografiske sektioner langs Vestgrønland. De sydlige stationer til og med Sisimiut varetages af DMI, mens de nordlige stationer varetages af Grønlands Naturinstitut samt enkelte overlappende sektioner.

DMI deltager desuden i særlige målekampagner i f.eks. Nordatlanten. DMI deltog således i oceanografiske undersøgelser i Irmingerhavet i 2001 og 2002 for at bestemme, om dybvandsdannelse også foregår her, hvilket har betydning for den oceane cirkulation og dermed det globale klima (Pickart et al, 2003).

Terrestriske observationer relateret til klimaændringer

Overvågning af snedække, havis og overfladestråling er rapporteret i afsnittene om ”Atmosfæriske klimaobservationer” og ”Isobservationer”. Danmark foretager ikke yderligere terrestriske observationer som kan relateres til klimaændringer, men overvågning og undersøgelser af påvirkning af terrestriske forhold indgår i den klimarelaterede forskning.

Reanalyser

DMI samarbejder med det fælleseuropæiske meteorologiske regnecenter i Storbritannien, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts om opbygning og anvendelse af såkaldte globale reanalyser, der udgør et fundamentalt sæt af data for atmosfæren til forståelse af klimavariationer og -ændringer baseret på alle målinger globalt igennem en 40-års periode.

Klimadatabase og klimatologiske datasæt

DMI vedligeholder databaser over klimaudviklingen i de forløbne godt 125 år.

Gennem årene har DMI desuden etableret en række meget lange klimatologiske serier for Danmark, Færøerne og Grønland med forskellige tidsopløsninger.

De lange daglige tidsserier omfatter: Nedbørmængde, temperaturer, tryk og skydække for en række danske lokaliteter, 1874-2004 samt nedbørmængde og temperaturer for 2 grønlandske stationer 1874-2004 (DMI Technical Report 05-04).

De lange månedlige tidsserier omfatter: Temperaturer, nedbør, tryk, skydække og sne for både danske, færøske og grønlandske stationer 1873-2004 (DMI Technical Report 05-05).

De lange årlige tidsserier af data omfatter: Temperatur for et antal stationer i Danmark, på Færøerne og i Grønland (1873-2004) samt temperatur, nedbør, solskinstimer og skydække som landstal for Danmark (1873-2004) (DMI Technical Report 05-06).

Udviklingsbistand til oprettelse og vedligeholdelse af observationssystemer og systemer til overvågning

DMI har fra 1997 til 2004 deltaget i et udviklingsprojekt sammen med det ghanesiske meteorologiske institut (Meteorological Services Department – MSD). Projektet havde bl.a. til formål at genetablere et meteorologiske stationsnetværk i landet og derigennem sikre indsamlingen af data. Samtidig blev der arbejdet på en bedre formidling og nyttiggørelse af de indsamlede data. MSD havde ved projektets afslutning et velfungerende observationsnetværk bestående af ca. 300 stationer, der registrerer de gængse meteorologiske parametre.



Danmarks Klimacenter/DMI koordinerede projektet "Anvendelse af klimatiske sæsonprognoser til forbedring af dyrkningsstrategier for afgrøder i Vestafrika". Formålet var 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 finansieredes af Rådet for Ulandsforskning (RUF).

DMI har i 2004 i samarbejde med AGRHYMET i Niger udarbejdet et projektforslag vedr. brug af satellitdata samt udarbejdelse af sæsonprognoser. Det ser dog ud til at der ikke som før forventet vil være finansiering af projektet.



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 22 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.

Klimacentrets medarbejdere holder foredrag for fx gymnasieelever, undervisere og forskere samt for andre interesserede. Således har centrets medarbejdere fx deltaget i Dansk Naturvidenskabsfestival siden 1998 med foredrag rundt omkring i landet.

Klimainformation

DMI/Danmarks Klimacenter formidler viden om klima til offentligheden gennem en omfattende hjemmeside på www.dmi.dk, gennem foredrag og populære artikler i aviser og fagblade, gennem rapportserier samt på temadage (Dansk Klimaforum). 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 ofte i interviews i radio og tv, ligesom der gives interviews til den trykte presse.

Dansk deltagelse i internationale klimaaktiviteter

DMI/Danmarks Klimacenter deltager i en række internationale forskningsprojekter med støtte primært fra EU-Kommissionens rammeforskningsprogrammer. Desuden bidrager centret til IPCC's arbejde. Bl.a. er en der i internationalt samarbejde gennemført beregninger af klimaudviklingen for flere af IPCC's SRES-udslipsscenarier med et koblet atmosfære-oceanmodelsystem. Disse scenarier er tilgængelige til effektstudier i IPCC's scenariedatabase. 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 ekspert-reviewere, og det samme vil være tilfældet for AR4.

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, J., 2005: The Climate of Denmark with the Faroe Islands and Greenland 2004. DMI Technical Report No. 05-01.
- Cappelen, J., 2005: DMI daily data collection 1873-2004, Denmark and Greenland. DMI Technical Report 05-04.
- Cappelen, J., 2005: DMI Monthly Climate Data Collection 1860-2004, Denmark, Faroe Island and Greenland. An update of: NACD, REWARD, NORDKLIM and NARP datasets. DMI Technical Report 05-05.
- Cappelen, J., 2005: DMI annual climate data collection 1873-2004, Denmark, The Faroe Islands and Greenland - with Graphics and Danish Abstracts. DMI Technical Report 05-06.
- Cappelen, J., 2004: The Climate of Denmark - Key Climatic Figures, 2000-2003. DMI Technical Report No. 04-05.
- Cappelen, J., 2000: The Climate of Denmark - Key Climatic Figures, 1990-99. DMI Technical Report No. 00-08.
- Cappelen, J. og Laursen, E.V., 2000: Daily Temperature Normals - Denmark, The Faroe Islands and Greenland. DMI Teknisk Rapport 00-17.
- Cappelen, J., Jørgensen, B.V., Laursen, E.V., Stannius L.S. og Thomsen, R.S., 2000: The Observed Climate of Greenland, 1958-99 with Climatological Standard Normals, 1961-90. DMI Teknisk Rapport 00-18.
- Cappelen, J. and Jørgensen, B. V., 1999: Observed Wind Speed and Direction in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. DMI Technical Report 99-13.
- Cappelen, J. and Laursen, E.V., 1998: The Climate of The Faroe Islands - With Climatological Standard Normals, 1961-1990. DMI Technical Report 98-14.
- Christensen, J.H. (Ed.), 2005: Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects (PRUDENCE). Final Report, submitted to EU commission.
- Christensen, J.H., T.R. Carter, and F. Giorgi, 2002: PRUDENCE Employs New Methods to Assess European Climate Change, EOS, AGU, 83, 147.
- Christensen, J.H. and 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.

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Severe Summer Flooding in Europe, *Nature*, 421, 805-806.

Christensen, O.B. and J.H. Christensen, 2004: Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change*, 44, 107-117.

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. et al., 1997: Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. DMI Technical Report 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.

Kiilsholm, S., J.H. Christensen, K. Dethloff, and A. Rinke, 2003: Net accumulation of the Greenland Ice Sheet: Modelling Arctic regional climate change. *Geoph. Re. Lett.*, 30, doi:10.1029/2002GL015742.

Laursen, E.V and Rosenørn, S., 2002: New hours of bright sunshine normals for Denmark, 1961-1990. DMI Technical Report 02-25.

Laursen E.V., Rikke Sjølin Thomsen and John Cappelen, 1999 : Observed Air Temperature, Humidity, Pressure, Cloud Cover and Weather in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. DMI Technical Report 99-05.

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.

Pickart, R.S., Spall, M.A., Ribergaard, M.H., Moore, G.W.K. and Milliff, R.F., 2003. Deep convection in the Irminger Sea forced by the Greenland tip jet. *Nature*, 424, 152-156, doi:10.1038/nature01729.

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.



Stainforth, D.A., T. Aina, C. Christensen, M. Collins, N. Faull, D. J. Frame, J. A. Kettleborough, S. Knight, A. Martin, J. M. Murphy, C. Piani, D. Sexton, L. A. Smith, R. A. Spicer, A. J. Thorpe and M. R. Allen: "Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases", *Nature*, 433, 403-406.

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 klima overvågning, 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.

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

Tidligere rapporter fra Danmarks Meteorologiske Institut kan findes på adressen:

<http://www.dmi.dk/dmi/dmi-publikationer.htm>

Bilag A: DMI's rapport om systematiske klimaobservationer til det Globale Klimaobservationssystem (GCOS) i forbindelse med den fjerde nationalrapport under de forenede nationers rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC)

Indledning

Nærværende bilag giver en status over DMI's bidrag til de systematiske observationer til det globale klimaobservationssystem (GCOS). Rapporten udgør en del af den fjerde nationale meddelelse til parternes konference til De Forenede Nationers rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC).

Adskillige danske ministerier foretager klimaforskning og udarbejder klimarelaterede observationer for at opfylde deres forpligtelser. På nuværende tidspunkt findes der ingen samlet national plan for hele området, der omfatter såvel klimaforskning som klimaobservationer.

Systematiske observationer

I Danmark deltager mange styrelser i den systematiske observation af dele af klimasystemet. Registrering, kvalitetskontrol og arkivering af sådanne data tager sigte på at opfylde disse styrelsers samlede behov, der er afledt af deres overordnede opgaver.

Behovet for langsigtet systematisk observation af miljømæssige eller økologiske forhold opstår normalt i forbindelse med operationelle, lovgivnings- eller forskningsrelaterede behov. Et eksempel på operationelle behov er Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI) indsamling af meteorologiske data til forudsigelser og statistiske formål. De deraf afledte observationsprogrammer har tendens til at være langsigtede, men de afledte individuelle data kan betragtes som forgængelige, og der fokuseres måske ikke altid på, at de registrerede datas stabilitet og pålidelighed opretholdes.

Det videnskabelige miljø indser i højere grad det generelle behov for systematiske og pålidelige tidsserier, og det indgår i procedurerne for indsamling og behandling af data.

Datatilgængelighed

Rapporten beskriver relevante klimaobservationer for Danmark, Grønland og Færøerne. De pågældende data kan almindeligvis fås fra de institutioner, der driver observationsstationerne / indsamler data, men mange af dem kan også findes på Internettet, f.eks. på adressen: www.dmi.dk. Når data er bidrag til GCOS og sendes til de behørgige datacentre, kan de også fås fra disse centre.

Endvidere er alle meteorologiske data og produkter, der produceres af medlemmer af WMO (nationale vejrtenester) til WMO-programmer som f.eks. WWW, tilgængelige i henhold til bestemmelserne i WMO's resolution 40 (WMO's politik og praksis for udveksling af meteorologiske og beslægtede data og produkter, herunder retningslinjer med hensyn til kommercielle meteorologiske aktiviteter). Data af denne art er "gratis" og "frit" tilgængelige (dvs. kan erhverves alene mod betaling af de omkostninger, der er forbundet med reproduktion og levering, men uden betaling for selve produktet, og uden restriktioner for dets anvendelse).

Noget tilsvarende gør sig gældende for hydrologiske data og produkter omfattet af WMO's resolu-

tion 25. Derudover forventes IOC at vedtage en datapolitik, der giver gratis og åben adgang til data indsamlet, fremlagt eller udvekslet som led i havforskningsprogrammer gennemført i samarbejde med IOC.

Meteorologiske og atmosfæriske observationer

Bidrag til GCOS

Danmark deltager aktivt i GCOS Surface Network (GSN) og GCOS Upper Air Network (GUAN) samt i Global Ozone Observing System (GO3OS) som et led i Global Atmosphere Watch (GAW).

Tabel 1. Dansk deltagelse i det globale atmosfæriske observationssystem

¹Danmark deltager i GAW's GO3OS

	GSN	GUAN	GAW ¹
Hvor mange stationer er parten ansvarlig for?	7	1	4
Hvor mange af dem er i drift?	7	1	4
Hvor mange drives i dag i overensstemmelse med GCOS's standard?	7	1	4
Hvor mange forventes at være i drift i 2005?	7	1	4
Hvor mange leverer i dag data til internationale datacentre?	7	1	4

GCOS Surface Network / GSN-stationer

De syv udpegede GSN-stationer i Danmark, Grønland og på Færøerne drives alle af DMI og omfatter:

- Grønland: Upernavik, Nuuk, Danmarkshavn, Ammassalik, Prins Christian Sund;
- Færøerne: Tórshavn;
- Danmark: København.

Alle stationer opfylder i dag GCOS-standarden for overfladeobservation.

GCOS Upper Air Network / GUAN-stationer

Der er kun udpeget en GUAN-station for Danmark, Grønland og Færøerne, og den er beliggende i Narsarsuaq i Grønland. Stationen drives af DMI i overensstemmelse med GCOS-standarden. En undersøgelse foretaget i 2004 af stationens resultater viser, at 88 pct. af målingerne nåede en trykhøjde på 30 hPa.

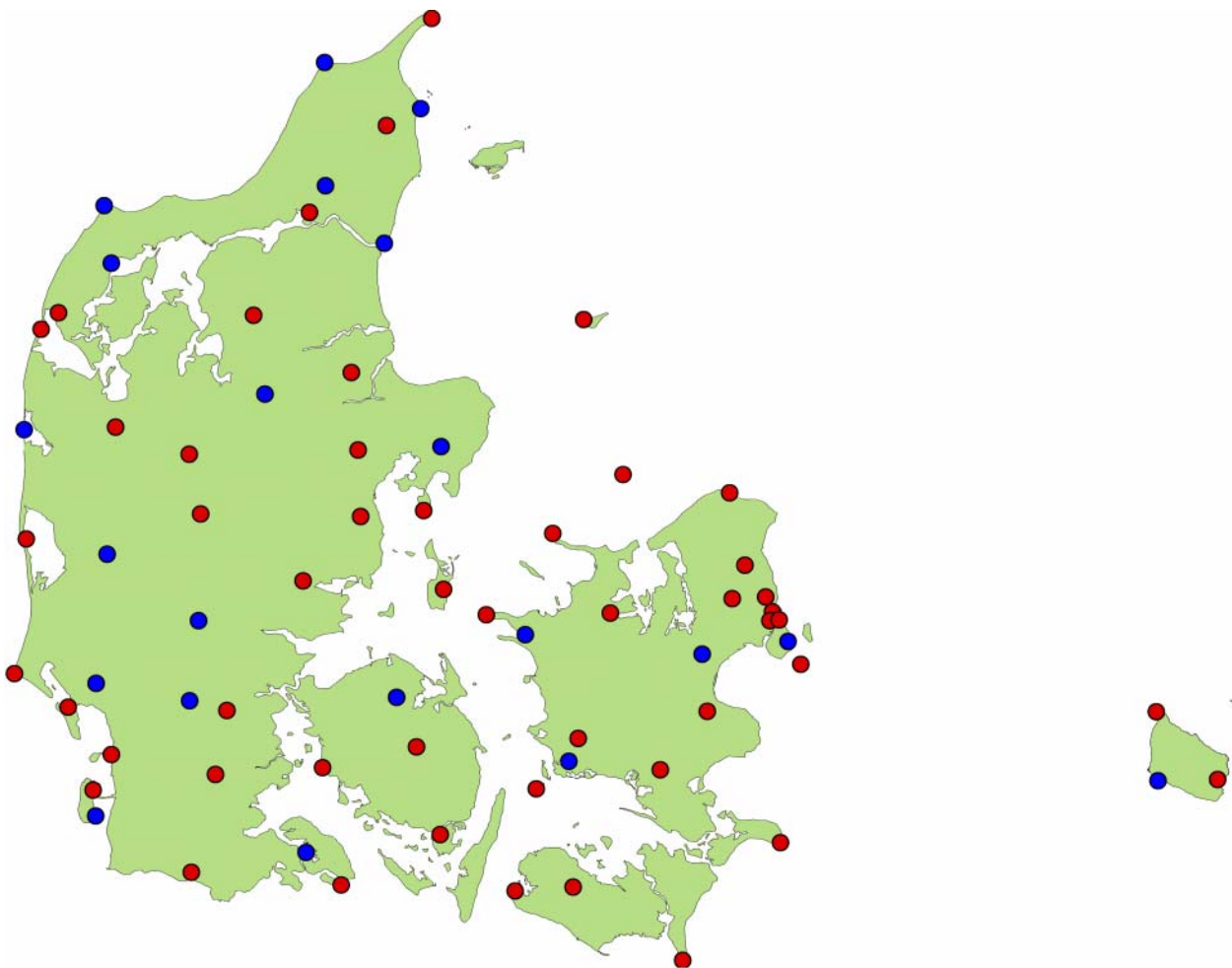
GCOS Global Atmospheric Watch / GAW-stationer

Som led i GAW-programmet bidrager Danmark til det globale ozonobservationssystem (GO3OS) med data fra tre stationer i Grønland og en i Danmark. Stationerne i Kangerlussuaq og København er udstyret med Brewer-spektrometre, stationen i Pituffik er udstyret med et Dobson- og et SAOZ-spektrometer. Og stationen i Illoqqortoormiut er udstyret med et SAOZ-spektrometer. Spektrometret i Illoqqortoormiut betjenes af Service d'Aeronomie (Frankrig) i samarbejde med DMI, og de øvrige spektrometre betjenes af DMI. Alle data er tilgængelige hos DMI.

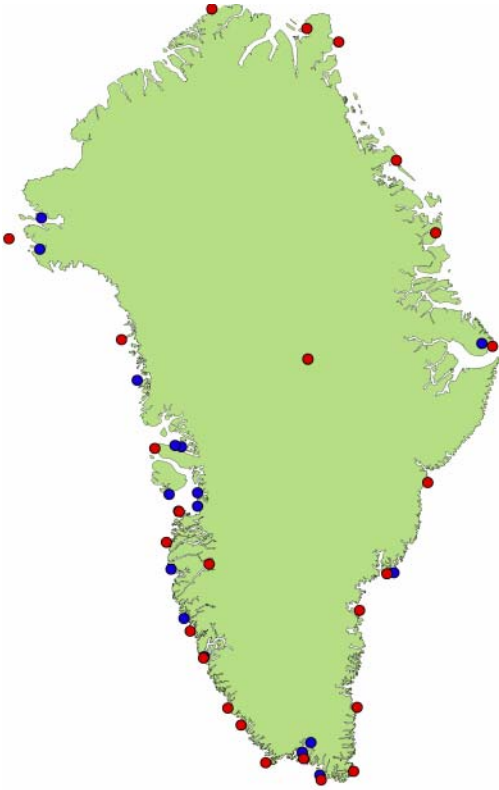
Nedenfor følger en oversigt over andre nationale meteorologiske og atmosfæriske observationer.

Klimatologiske/meteorologiske overfladestationer

DMI driver og modtager data fra et netværk på ca. 100 automatiske vejrstationer i Danmark, Grønland og på Færøerne. Alle målinger foretages i overensstemmelse med WMO's anbefalinger.



Figur 1. DMI's net af vejrstationer i Danmark. Rød plet: DMI station, blå plet: Samarbejdspartner. (Denne farvekode gælder for alle efterfølgende stationskort).



Figur 2. DMI's net af automatiske vejrstationer i Grønland.



Figur 3. DMI's net af automatiske vejrstationer på Færøerne.

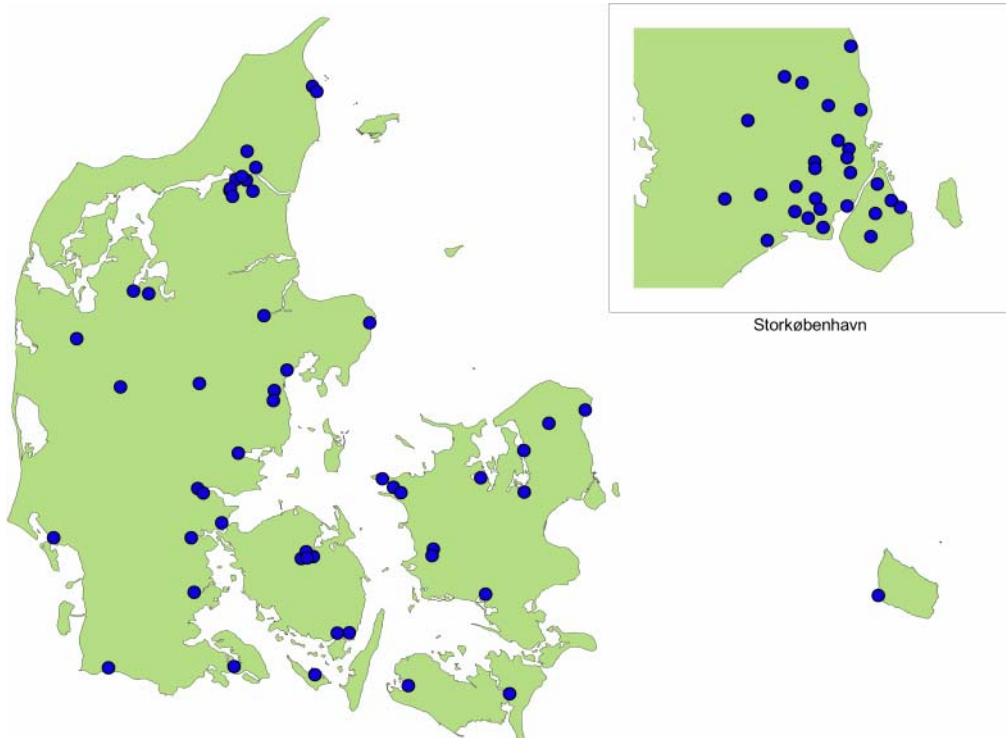
Et specielt lukket netværk bestående af (manuelle) stationer til klimatologiske observationer er med virkning fra 2001 lukket på grund af konvergens mellem de forskellige netværksteknologier. Baggrunden for denne beslutning er at eliminere menneskelige fejl, at opnå potentielle besparelser med rationaliseringen og at opnå en højere observationshyppighed. De klimatologiske data indsamles i dag fra det automatiske netværk, der er beskrevet ovenfor.

Der indsamles klimatologiske data for at definere klimaet i Danmark, Grønland og på Færøerne og for at oprette en national database for en lang række forespørgsler og forskningsaktiviteter. Klimatologisk arbejde består mest i at udarbejde års- og månedsstatistikker samt udregne gennemsnit, percentiler og standardafvigelser. For at kunne beregne pålidelige gennemsnit og tendenser er det nødvendigt med mange registrerede data. I 2004 omfattede den daglige strøm af data fra Danmark, Grønland og Færøerne 100.000 observationer, og i dag er der lagret 300.000.000 observationer i den centrale database hos DMI. Nogle af de lagrede data går helt tilbage til 1872.

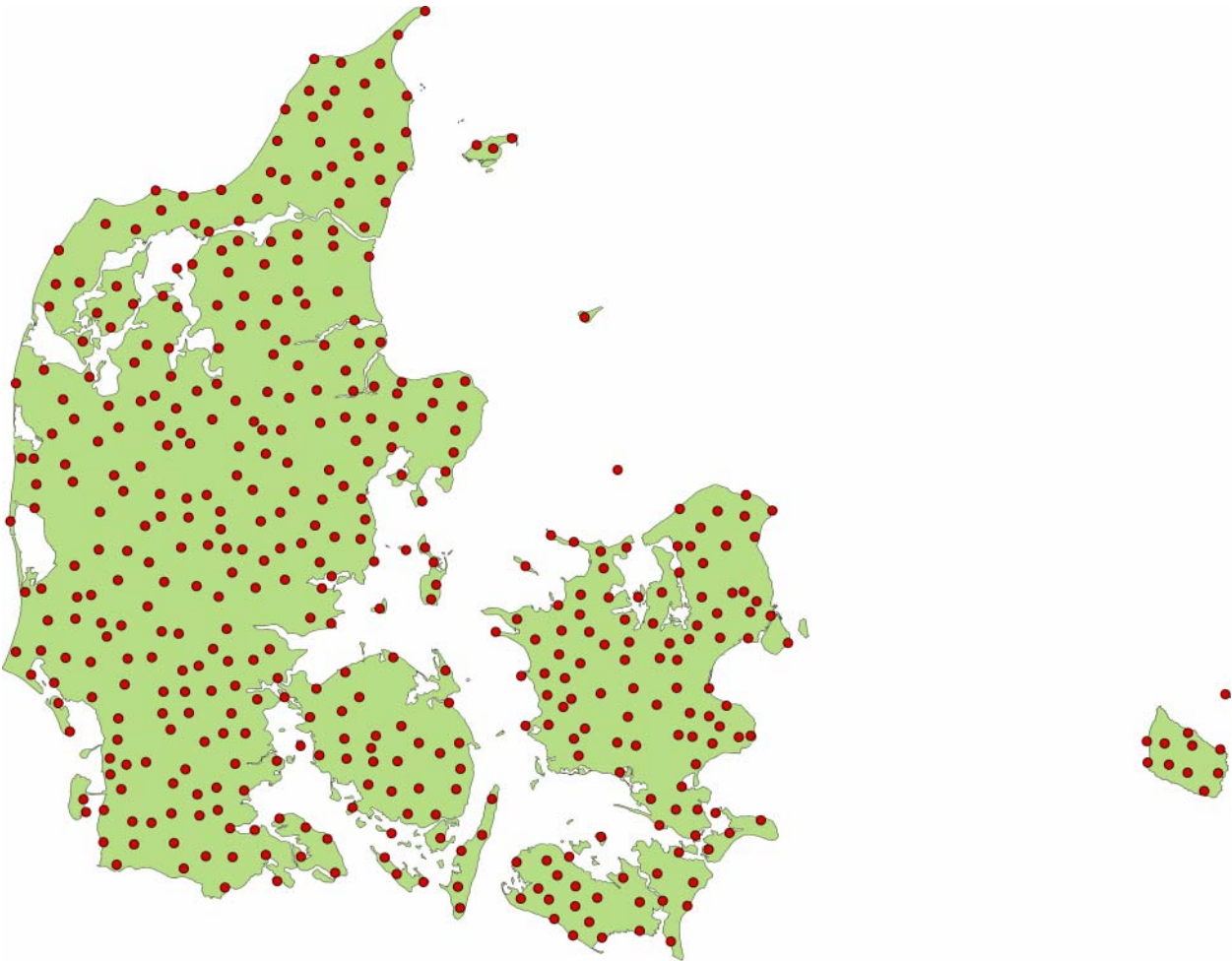
Hver måned udarbejdes der en oversigt for de tre stationer i Danmark, en på Færøerne og otte i Grønland i CLIMAT-format. Disse data udsendes rutinemæssigt via det globale kommunikationssystem (GTS).

Netværk til observation af nedbør (stationer og radar)

Der er behov for flere nedbørdata, end der genereres fra de ovenfor beskrevne klimatologiske og meteorologiske målenet. I Danmark består målenettet til registrering af nedbør af omtrent 575 stationer. Cirka 100 af disse stationer leverer løbende data om regnintensiteten. De drives af DMI og Spildevandskomitéen (SVK) i fællesskab. De øvrige 475 stationer indsamler dagligt værdier for nedbør, og data sendes dagligt elektronisk til DMI.



Figur 4. DMI's net af automatiske nedbørsintensitetsmålere i Danmark. Det indsatte kort viser målestationerne i Københavnsområdet.



Figur 5. DMI's net af manuelle nedbørsmålere.

På Færøerne indsamler et netværk til observation af nedbør bestående af 22 stationer dagligt oplysninger om nedbøren.

Oplysninger om nedbør kan også indhentes fra vejrradardata. DMI har i Danmark et netværk bestående af fire vejrradarer, der giver 100 pct. dækning af dansk landområde og kystnære havområder. Netværket har en uovertruffen geografisk dækning og leverer således meget detaljerede klimatologiske nedbørdata på såvel national, regional som lokal skala. De seneste forsøg med kalibrering af radardata i forhold til punktmålinger af nedbør viser stor absolut nøjagtighed. Det nuværende radarnet har en observationsfrekvens på seks billeder i timen og en rumlig opløsning på 2 km x 2 km.

Netværk til observation af energiindstråling og solskinstimer

DMI har et netværk bestående af 23 stationer i Danmark, seks i Grønland og en på Færøerne til observation af solskinstimer.

Målingerne af stråling foretages som ti minutters middelværdier af globalstråling på DMI's stationer og antallet af solskinstimer er en afledt størrelse der beregnes på basis af globalstrålingen.

Stationer til måling af solens ultraviolette (UV) stråler og stratosfærisk ozon

Solens UV-stråling på forskellige bølgelængder måles af DMI på to stationer i Grønland, Pittuffik og Kangerlussuaq.

Udover det tidligere omtalte GO3OS foretager DMI ugentlige ozonmålinger i Illoqqortoormiut og sporadiske ozonmålinger i vintermånederne i Pituffik.

Målinger i de øvre luftlag - radiosondeobservationer

DMI driver radiosondestationer på følgende syv lokaliteter: København, Tórshavn (Færøerne) og Danmarkshavn, Illoqqortoormiit, Tasiilaq, Narsarsuaq og Aasiaat (Grønland). Der foretages to målinger om dagen på disse stationer.

Der udarbejdes og udsendes rutinemæssigt en månedsoversigt via GTS (CLIMAT TEMP) for alle syv stationer.

Isobservationer

DMI er ansvarlig for systematisk overvågning af havisforholdene i de grønlandske farvande. Der er indsamlet observationer om isforhold i næsten 125 år, og der findes store mængder af data i form af månedsoversigter i grafisk form, iskort etc.

Siden 1959 har man lagt særlig vægt på området syd for Kap Farvel (Grønlands sydligste spids) for at forbedre sikkerheden i dette vigtige besejlingsområde. Flere gange om ugen udarbejdes iskort med detaljerede oplysninger om relevante isforhold. De nyeste iskort er offentligt tilgængelige i form af vektorgrafik.

Siden 2000 er der udarbejdet ugentlige oversigter over isforholdene i de grønlandske farvande. Oversigterne, der er baseret på satellitdata, genereres semi-automatisk og er hovedsagelig beregnet til klimatologiske analyser, idet energiudstrålingen fra havet er stærkt afhængig af om det er isdækket eller ej.

Klimatologiske datasæt

Gennem årene har DMI etableret en række meget lange klimatologiske serier for Danmark, Færøerne og Grønland med forskellige tidsopløsninger.

De lange daglige tidsserier omfatter: Nedbørmængde, temperaturer, tryk og skydække for en række danske lokaliteter, 1874-2004 samt nedbørmængde og temperaturer for 2 grønlandske stationer 1874-2004 (DMI Technical Report 05-04).

De lange månedlige tidsserier omfatter: Temperaturer, nedbør, tryk, skydække og sne for både danske, færøske og grønlandske stationer 1873-2004 (DMI Technical Report 05-05).

De lange årlige tidsserier af data omfatter: Temperatur for et antal stationer i Danmark, på Færøerne og i Grønland (1873-2004) samt temperatur, nedbør, solskinstimer og skydække som landstal for Danmark (1873-2004) (DMI Technical Report 05-06).

Oceanografiske observationer

Bidrag til GCOS

De oceanografiske observationer til GCOS er baseret på GOOS' klimamodul for åbent hav, der

omfatter følgende programmer: Drivende og forankrede bøger koordineret af DBCP (Data Buoy Cooperation Panel), Ship of Opportunity Programme (SOOP), Argo batteri af profilerende pontoner, Global Sea Level Observing System (GLOSS), Voluntary Observing Ships Programme (VOS) og Automated Shipboard Aerological Programme (ASAP).

Danmark deltager i VOS-, GLOSS- og ASAP-programmerne som vist summarisk i tabel 3 nedenfor.

Tabel 2. Deltagelse i de globale oceanografiske observationssystemer

	VOS	SOOP	Tidevands- målere (GLOSS)	SFC drivende bøger (DBCP)	SUB-SFC pontoner (Argo)	Forankrede bøger (DBCP)	ASAP
Hvor mange stationer er parten ansvarlig for?	47	0	1	0	0	0	2
Hvor mange leverer data til internationale datacentre?	47	0	1	0	0	0	2
Hvor mange forventes at være i drift i 2005?	40-50	0	1	0	0	0	2

Frivilligt observerende skibe / VOS

VOS er en international ordning, udviklet for ca. 150 år siden, hvor specielt oceangående skibe hverves til at indsamle og sende meteorologiske observationer. VOS-skibenes bidrag til World Weather Watch's (WWW) Globale Observationssystem (GOS) er meget vigtige. Disse observationer bidrager også i stigende grad til de globale klimaundersøgelser gennem VOSCLIM (VOS Climate Project). VOS-observationer distribueres via GTS og arkiveres af mange nationale vejrtjenester.

Ved udgangen af 2004 omfattede den danske VOS-flåde 47 skibe. DMI har det operationelle og faglige ansvar for observationerne, der sendes fra skibene hver tredje time.

Vandstandsmålinger / GLOSS

GLOSS er et internationalt program, der koordineres af IOC, til etablering af globale og regionale net af avancerede vandstandsmålestationer til brug for klimaforskning, oceanografisk forskning samt forskning i vandstande ved kystområder. Hovedbestanddelen af GLOSS udgøres af Global Core Network (GCN), der består af 287 vandstandsmålestationer rundt om i verden til brug for overvågning af langsigtede klimaændringer samt oceanografiske vandstandsvariationer. Der er etableret GLOSS-stationer i Tórshavn på Færøerne, som drives af DMI. De relevante middelværdier fra stationerne sendes til Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) ved Proudman Oceanographic Laboratory i Storbritannien.

PSMSL blev oprettet i 1933 og er en global database med oplysninger om langsigtede vandstandsændringer baseret på vandstandsmålinger. Der sendes oplysninger om månedlige og årlige middelvandstande til PSMSL fra 15 stationer i Danmark og én på Færøerne.

Automatisk skibsbaseret radiosondeprogram (ASAP)

ASAP startede i sin nuværende form i midten af 80'erne. Programmets formål er at registrere profil-data fra de øvre luftlag over havområder ved hjælp af automatiserede målesystemer installeret ombord på handelsskibe, der regelmæssigt besejler oceanerne. Adskillige nationale vejrtjenester driver ASAP-enheder, og de indsamlede data er tilgængelige i sand tid via GTS. Mange af disse vejrtjenester arkiverer ASAP-data sammen med andre radiosonde-data. ASAP er et vigtigt bidrag til såvel WWW som GCOS. De fleste målinger kommer i dag fra Nordatlanten og det nordvestlige Stillehav, men programmet er - gennem et nyt samarbejdsprojekt, World-wide Recurring ASAP Project (WRAP) - ved at blive udvidet til også at omfatte andre havområder. Danmark driver to ASAP-enheder ombord på skibe, der sejler i fast rutefart mellem Danmark og Grønland.

Der europæiske meteorologiske samarbejde, EUMETNET, startede i december 2000 et særligt E-ASAP-program, der sigter mod en egentlig samdrift af de europæiske meteorologiske institutters ASAP programmer.

Nedenfor er andre nationale oceanografiske og maritime observationer omtalt.

Havtemperaturer

I Danmark findes der et netværk til måling af havtemperaturer på 26 kyststationer rundt omkring i landet. Stationerne drives af DMI, Farvandsvæsenet, Kystdirektoratet og lokale myndigheder. Data er tilgængelige hos de deltagende institutioner. Endvidere monitoreres havoverfladetemperaturen ved hjælp af satellitter, hvor DMI producerer daglige kort for området Nordsøen-Østersøen.

Nationalt netværk for vandstandsmålinger

I Danmark findes der et omfattende netværk til registrering af vandstand, der drives af DMI og Farvandsvæsenet, Kystdirektoratet og lokale myndigheder. Netværket består af 81 automatiske stationer.

I Grønland drives en vandstandsstation af KMS. På Færøerne er der en station i Tórshavn, som DMI er ansvarlig for. Data er tilgængelige hos de deltagende institutioner.

Farvandsovervågning

DMI er involveret i følgende projekter:

Målinger af vandtransporten tværs over højderyggen mellem Grønland og Skotland

I forbindelse med det nordiske WOCE-program (1993-97) begyndte man at observere vandtransporten over højderyggen mellem Grønland og Skotland, og man har fortsat målingerne efter programmets ophør. Formålet med observationskampagnen var at få pålidelige kvantitative mål for de vandmængder, som de forskellige strømkomponenter transporterer ind og ud af Nordsøen, og især for at undersøge eventuelle sæsonvariationer og variationer fra år til år, der kunne afspejle ændringer i den globale termohaline cirkulation.

Overvågning af de oceanografiske forhold langs Vestgrønlands kyst

Som medlem af North Atlantic Fisheries Organisation (NAFO) er Danmark/Grønland ansvarlig for overvågningen af de fysiske oceanografiske forhold langs med Grønlands vestkyst. Grønlands Naturinstitut i Nuuk har det formelle ansvar for udførelsen af disse målinger, og siden 1998 har instituttet betalt DMI for at udføre arbejdet.

Vandets temperatur og saltholdighed måles af standardstationer langs med Grønlands vestkyst for at få viden om havklimaet i området, der har stor indflydelse på fiskearternes reproduktion og overlevelse i området, hvoraf nogle er tæt på at uddø. Disse data er således af stor betydning for arbejdet med vurderingen af fiskeriets forhold.

Overvågning af oceanografiske forhold omkring Færøerne

Fiskerilaboratoriet i Thorshavn registrerer fire gange om året de oceanografiske forhold omkring Færøerne i fire standardsektioner for at undersøge områdets vandmassesammensætning og ændringer i denne.

Terrestriske observationer

Overvågning af snedække, havis og overfladestråling er en naturlig del af DMI's aktivitet. DMI foretager ikke yderligere terrestriske observationer som kan relateres til klimaændringer, men overvågning og undersøgelser af påvirkning af terrestriske forhold indgår i den klimarelaterede forskning.

Observationer fra rummet

DMI bidrager til de rumbaserede observationer gennem sit medlemskab af ESA (Den Europæiske Rumfarts Organisation, der har deltagelse fra 15 europæiske lande samt Canada, der er associeret medlem), EUMETSAT (Den europæiske meteorologiske satellitorganisation med deltagelse af 18 europæiske medlemsstater og 8 samarbejdsstater) samt ved anvendelse af små, nationale satellitter. I denne rapport, der fokuserer på specifikke danske behov og dansk indsats, gives der ingen detaljerede oplysninger om platforme og sensorer. Den danske strategi for jordobservationer realiseres i vid udstrækning gennem deltagelse i internationale programmer og i nogen grad gennem nationale programmer som f.eks. Ørstedssatellitten.

De danske rumaktiviteter er ikke koordineret af én central institution. Videnskabsministeriet repræsenterer Danmark i ESA, mens Trafikministeriet har ansvaret for Danmarks deltagelse i EUMETSAT-samarbejdet.

De egentlige aktiviteter udføres af flere organisationer herunder DMI, DTU, Danmarks Rumcenter og naturligvis den private industri.

ESA- og EUMETSAT-satellitter og -programmer

ESA's jordobservationsprogrammer, som enten er i drift, eller som sættes i drift inden udgangen af 2005, samt de projekter hvori Danmark deltager, omfatter følgende:

- ERS-2. Opsendt i 1995. Opfølgning af ERS-1 med undersøgelse af jorden med radar, mikrobølger og infrarød stråling. ERS-2 omfatter yderligere et instrument til observation af ozonhullet.
- ENVISAT. Opsendt i 2002. Europæisk miljøsatellit til afløsning af ERS-satellitterne med avancerede versioner af de instrumenter der blev benyttet i ERS-2 samt flere nye og vigtige instrumenter.

- MSG-1 (ESA og EUMETSAT) opsendt i august 2002. MSG-2 er planlagt til opsendelse juni 2005. De geostationære MSG-satellitter (MSG = Meteosat Second Generation) leverer meget mere præcise og anvendelige oplysninger om meteorologiske forhold end den nuværende Meteosat, der har sendt målinger fra en geostationær position over Ækvator siden 1977.
- METOP-1 (ESA og EUMETSAT) med avancerede instrumenter bl.a. til måling af atmosfæriske forhold forventes opsendt i løbet af 2006. Meteosat og MSG observerer meteorologiske forhold i Europa og Afrika fra en geostationær position over Ækvator. METOP vil modsætningsvis være i et væsentligt lavere polært kredsløb, og vil derfor dække de arktiske og antarktiske områder.

DMI repræsenterer Danmark i EUMETSAT, der for tiden har følgende programmer:

- MTP (Meteosat Transition Programme). Drift af Meteosat-7, -6 (reserve), -5 (Indiske ocean) i geostationære kredsløb.
- MSG (Meteosat Second Generation). Fremtidig drift af MSG-1, -2, og -3 i geostationære kredsløb.
- EPS (European Polar System). Fremtidig drift af METOP-1 (opsendelse planlagt til 2006), -2 og -3 i polært kredsløb.

EUMETSAT har som led i sit distribuerede jordsegment et net af satellitapplikationsfaciliteter (SAF'er), der er specialiserede udviklings- og driftscentre (jf. www.eumetsat.de for yderligere oplysninger). Disse centre udnytter den særlige ekspertise, der specielt findes på de nationale meteorologiske institutter i EUMETSAT's medlemsstater til at komplementere EUMETSAT's egen fremstillingen af meteorologiske standardprodukter på grundlag af satellitdata. Der er syv SAF-projekter under udvikling, som fokuserer på følgende anvendelsesformål:

- SAF til støtte for nowcasting og meget kortsigtede prognoser
- SAF for oceanografi og havis
- SAF for ozonovervågning
- SAF for numeriske vejrprognoser
- SAF for klimaovervågning
- SAF for GRAS-meteorologi
- SAF for jordoverfladeanalyser.

En række af disse er relevante for GCOS-overvågning. DMI er vært for SAF til GRAS-meteorologi og bidrager til såvel Ocean og havis-SAF'en som ozon-SAF'en.

GPS-data fra Ørsted-, SAC-C og CHAMP-satellitterne

Måling af GPS-signalers variation er en ny og meget lovende teknik til brug for såvel numeriske vejrprognoser som for overvågning og identificering af klimaændringsprocesser. Dette blev første gang påvist af den amerikanske GPS/MET-mission. Forskningsatellitterne Ørsted, SAC-C og CHAMP er alle i udstyret med højpræcisions GPS-modtagere, der er nødvendige for at udføre denne type profilmålinger i atmosfæren. GPS-data fra den danske Ørsted-satellit, der blev opsendt i

1999, er brugt i EU-projektet CLIMAP (**CL**imate and environment **M**onitoring with GPS-based **A**tmospheric **P**rofilng) til undersøgelse af indvirkningen på numeriske vejrprognoser. Og eftersom disse data ikke behøver kalibrering, vil de vise sig meget værdifulde for klimaovervågning, idet man kan kombinere flere datasæt og prognosemodeller.

Hovedformålet med CLIMAP-projektet var at demonstrere værdien af GPS-teknikken i relation til numeriske vejrprognoser (NWP). Projektet omfatter data fra GPS-modtagelse på jorden såvel som via satellitter i lave kredsløb. Der blev udviklet et fuldstændigt koncept til behandling af satellitbaserede GPS-data rækkende fra modtagelse af GPS-signaler til assimilation i NWP-modellerne. Konceptet omfattede operationel modtagelse af banedata fra Ørstedssatellitten med tilhørende niveau 0-behandling og arkivering (er udviklet og drives af det danske firma TERMA A/S og DMI). Dette koncept vil også blive anvendt af DMI i forbindelse med de nye GPS-data der modtages af den tyske CHAMP og den argentinske SAC-C satellit.

Aktiviteter vedrørende observationer i udviklingslande

DMI har fra 1997 til 2004 deltaget i et udviklingsprojekt sammen med det ghanesiske meteorologiske institut (Meteorological Services Department – MSD). Projektet havde bl.a. til formål at genetablere et meteorologiske stationsnetværk i landet og derigennem sikre indsamlingen af data. Samtidig blev der arbejdet på en bedre formidling og nyttiggørelse af de indsamlede data. MSD havde ved projektets afslutning et velfungerende observationsnetværk bestående af ca. 300 stationer, der registrerer de gængse meteorologiske parametre.

Danmarks Klimacenter/DMI koordinerede projektet "Anvendelse af klimatiske sæsonprognoser til forbedring af dyrkningsstrategier for afgrøder i Vestafrika". Formålet var 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 finansieredes af Rådet for Ulandsforskning (RUF).

DMI har i 2004 i samarbejde med AGRHYMET i Niger udarbejdet et projektforslag vedr. brug af satellitdata samt udarbejdelse af sæsonprognoser. Det ser dog ud til at der ikke som før forventet vil være finansiering af projektet.

Bilag B: Oversigt over en række igangværende klimarelaterede forskningsprojekter på DMI

Nedenstående aktuelle forskningsprojekter er finansieret af EU-kommissionens forskningsprogram, EUMETSAT samt nationale forskningsråd og programmer.

- CAL. “Coupling of Atmospheric Layers”.
- CANDIDOZ. “Chemical And Dynamical Influences on Decadal Ozone Changes”.
- Climate and Energy.
- CONWOY. “Consequences of Weather and climate changes for marine and freshwater ecosystems”.
- CWE. “Climate, Water and Energy”.
- ENSEMBLES. ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts.
- EUMETSAT OZON and UV SAF. “The development and implementation of certain activities of a EUMETSAT Satellite Application Facility on ozone monitoring”.
- GEMS. Global Earth-System Monitoring Using Satellite and In-Situ Data.
- GLIMPSE. “Global Implications of Arctic climate processes and feedbacks”.
- GRAS SAF. The development of a EUMETSAT Satellite Application Facility for GRAS meteorology, including a visiting scientist programme.
- GREENICE. “Greenland arctic shelf ice and climate experiment”.
- HIBISCUS. Impact of tropical convection on the upper troposphere and lower stratosphere at global scale.
- MERSEA IP. Marine Environment and Security for the European Area . Integrated Project.
- MOEN. “Meridional Overturning Exchange with Nordic Seas”.
- Ocean and Sea Ice SAF. “The development of a EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility”.
- ODON. Optimal Design of Observational Networks.
- OFR-Cirrus. Offentlige forskningsudvalg for Rummet – Cirrus kampagne.
- QUANTIFY. Quantifying the Climate Impact of Global and European Transport Systems.
- SCOUT-O3. Stratosphere-Climate links with emphasis on the UTLS.



- STARDEX. “Statistical and Regional Dynamical downscaling of Extremes for European regions”.
- Vestnordisk Oceanklima.
- VOGUE. Validation of Envisat ozone and NO₂ products from ground based measurements in Greenland.