

# Klimaændringer de seneste 150 år

*Næsten dagligt præsenteres vi for katastrofer i medierne, der tilskrives klimaændringer: orkaner, oversvømmelser, tørke. Det er dog ikke muligt at koble enkelte vejrbegebenheder til klimaændringer. Artiklen giver en oversigt over, hvad der konkret er blevet registreret af klimaændringer såvel globalt som i Danmark*

Anne Mette K. Jørgensen og  
John Cappelen

■ Hvis vi vil vide, om vi ændrer klimaet, så må vi vide, hvor meget det ændrer af sig selv. Det er en af grundene til, at gamle vejr-data er så værdifulde.

De ældste direkte temperaturmålinger er fra 16-1700-tallet, men først fra ca. 1860 er der pålidelige målinger, som dækker hele kloden.

Information om klimaet længere tilbage får vi fra træringe og koraller samt borekerner i søer, moser, oceaner og iskapper. Det er klart, at sådanne typer data er meget mere usikre end de direkte målinger med termometre, men også målinger med termometre skal benyttes med omtanke, når de bruges til at studere temperaturudviklingen. Der skal blandt andet korrigeres for fejl, der opstår som følge af flytning af målestationer, ændringer i instrumenter og



*En regnbyge over Øresund – noget tyder på at de voldsomme nedbørsbegebenheder bliver hyppigere.*

observationstidspunkter og ikke mindst ændring af målestationens omgivelser – bevoksning, bebyggelse (urbanisering) med videre.

Målinger op igennem atmosfæren fås fra ballonbårne instrumenter, såkaldte radio-

sonder, og de seneste årtier er målingerne desuden suppleret med målinger fra satellitter.

Det er de nationale meteorologiske institutter, som verden over står for den systematiske klimaovervågning. Overvågningen koordineres af Verdens

Meteorologiske Organisation (WMO), som er en særorganisation under FN. WMO fastsætter normer og retningslinier for det internationale samarbejde, som bl.a. omfatter de globale observations- og kommunikationssystemer. DMI bidrager gennem

dette medlemskab til det globale observationsnet og er forpligtet til at opretholde observationsstationer i Danmark, Grønland og på Færøerne samt at deltage i den internationale udveksling af observationsdata.

### Globale klimaændringer

Temperaturen på den nordlige halvkugle var svagt faldende fra år 1000 og op til 1800-tallet med store variationer fra år til år.

“Den lille istid” var en kold periode i det 17. til 19. århundrede. Lokale målinger af temperaturen samt historiske dokumenter, der beskriver is på floder, som ikke plejede at fryse til, og høstudbytter, der gik tabt, viser, at der var afkøling af store dele af den nordlige halvkugle (Nordamerikas østkyst, Europa og hele Asien).

I de sidste 100 år er den globale temperatur steget med ca.  $0,74\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Stigningerne er især sket mellem 1910 og 1945 og igen siden 1975. Det varmeste år indtil nu var 1998. Fem af de seks varmeste år er forekommet inden for de seneste fem år, og også 2007 tegner til at blive et meget varmt år.

Men ikke kun temperaturen ændres. Der er også ændringer i andre dele af klimasystemet:

- Den globale vandstand er steget, og stigningshastigheden vokser. Fra 1961 til 2003 var den i gennemsnit ca. 1,8 millimeter pr. år, mens den for de sidste 11 år af perioden (1993-2003) var vokset til ca. 3,1 millimeter pr. år.
- Iskapper og bjerggletschere smelter mange steder, hvilket bidrager til vandstandsstigningen.
- Snedækket på den nordlige halvkugle er aftaget med omkring 5 % siden 1966.
- Temperaturen er steget i permafrostområder, og det maksimale område, som er dækket af permafrost, er reduceret med 10 % på den nordlige halvkugle.
- Der er udbredt reduktion i antallet af frostdage på mellembreddegrader og en stigning i antallet af varme eks-

## Globale temperaturændringer

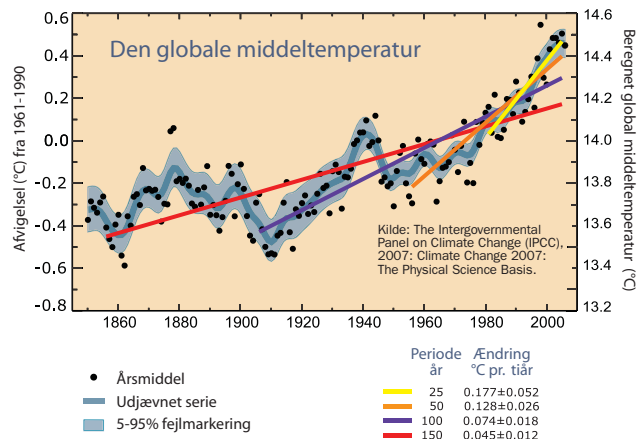
### Hvordan beregnes ændringer?

Klimadata fra de meteorologiske institutter udveksles internationalt, og ved flere institutioner arbejdes der med at sammenstille og analysere disse data. Der måles flere gange dagligt ved flere tusinde målestationer over land og fra skibe på oceanerne for at give et billede af den globale gennemsnitstemperatur. Faktisk er det ikke temperaturen selv, som analyseres, men afvigelsen i forhold til en given referenceperiode for hver målestation. Det giver mere robuste resultater og mindre afhængighed af datatilgængeligheden. Der findes nu analyser tilbage fra 1850, selv om der ikke var global datadækning i den første del af perioden. I 1957 begyndte målinger fra Antarktis, og datadækningen er bedst i de senere årtier, hvor der suppleres med satellitmålinger (se også boksen om “Global overvågning af vejr og klima”).

De forskellige institutioner og forskergrupper kommer ikke til identiske resultater, selv om de fleste af de observationsdata, som de benytter, er de samme. Forskellene skyldes især, at der anvendes forskellige metoder til at midle data rumligt. Datadækningen er for-

tremer. F.eks. var varmebølgen over store dele af Europa i 2003 exceptionelt varm:  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  over den hidtil varmeste sommer.

- Der er målt stigende vindhastigheder på mellembreddegrader på begge halvkugler.
- Satellitdata viser, at det årlige gennemsnit af arktisk havis er aftaget med ca. 3 % pr. årti siden 1978. Om sommeren er udbredelsen af arktisk havis aftaget med 20 % siden 1978.
- Afsmeltning af den grønlandske iskappe har bidraget med ca. 0,20 millimeter pr. år til den globale vandstandsstigning, mens det er mere usikkert, hvad der sker ved Antarktis.
- Der er blevet flere perioder med tørke.



Kurve over den globale middeltemperatur fra Det internationale klimapanel, IPCC 2007. Det fremgår at stigningstakten de seneste 25 år har været  $0,177\text{ grader C pr. tiår}$  svarende til ca.  $1,8\text{ grader}$  på hundrede år.

skellig i forskellige dele af verden og mindst over oceanerne, som dækker 71 % af kloden.

### Klimadata og urbanisering

Temperaturmålinger påvirkes lokalt af urbaniseringseffekter, og det diskuteres, om sådanne effekter har påvirket de globale temperaturserier, så de viser for store temperaturstigninger.

Det er velkendt, at klimaet inde i storbyer i gennemsnit er varmere, end hvis der ikke var nogen by, men langt de fleste

klimastationer ligger uden for byerne, og – hvor det er nødvendigt – korrigeres målingerne for urbaniseringseffekter. En række nyere studier viser således, at urbanisering kun giver en lille usikkerhed ( $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$  over 100 år) i udviklingen for gennemsnit af landbaserede temperaturmålinger. Effekten findes ikke for temperaturer over hav, så virkningen af urbanisering er altså mindst en størrelsesorden mindre end den globale temperaturstigning på  $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$  over samme periode.

- Der er generelt blevet mindre nedbør over land fra 10 til  $30^{\circ}\text{N}$  efter 1970, mens der er øget nedbør på højere bredder på begge halvkugler. Antallet af kraftige nedbørepriser er øget, også i områder, hvor den totale nedbør er reduceret.
- Der er ingen klar tendens i antallet af tropiske orkaner, men satellitdata siden 1970'erne viser en global tendens hen imod kraftigere og længerevarende orkaner.

### Klimaændringer i Danmark

Vejret i Danmark er stærkt påvirket af nærheden til såvel havet som kontinentet. Det betyder, at vejret veksler afhængigt af den dominerende vindretning samt årstiden.

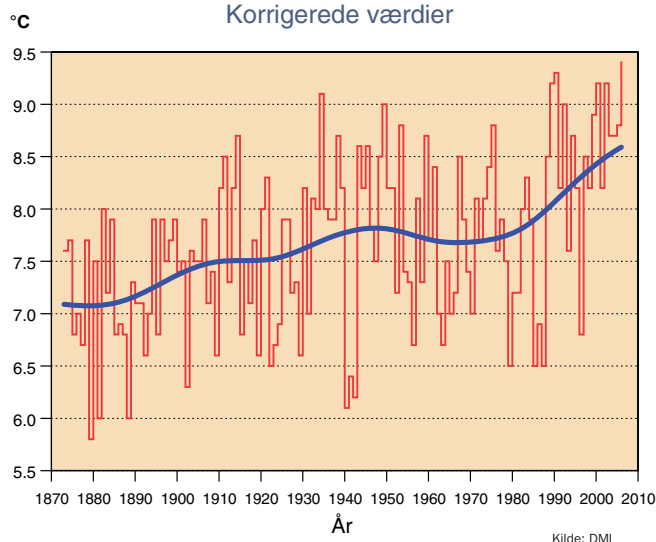
Sammenlignet med andre

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 vintr er næsten ubeboelige.

Den gennemsnitlige årstemperatur for landet som helhed er  $7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , varierende fra  $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  i det midterste af Jylland til  $8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  grader ved nogle kyster taget som gennemsnit. De enkelte årsmiddeltemperaturer for landet som helhed varierer fra under 6 til over 9 grader.

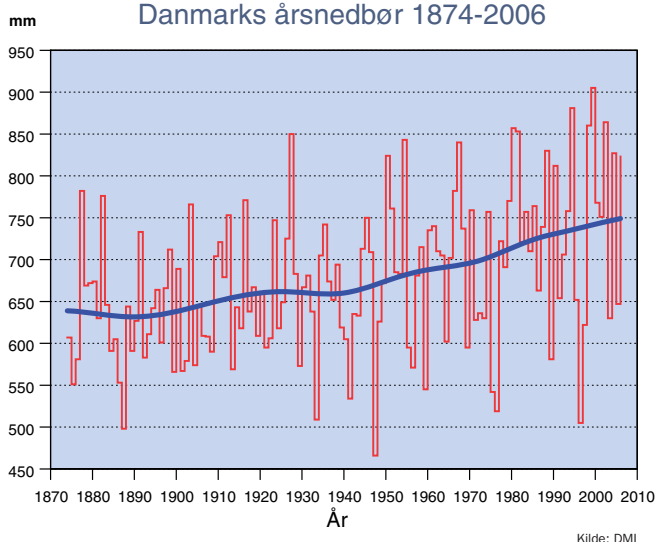
De ti varmeste år er spredt fra 30'erne og frem til nu. Faktisk

Danmarks årsmiddeltemperatur 1873-2006  
Korrigerede værdier



Udviklingen i årsmiddeltemperaturen for Danmark siden 1873. Ligesom på verdensplan er der tale om en klar forøgelse af årsmiddeltemperaturen.

Danmarks årsnedbør 1874-2006



Udviklingen i årsnedbøren for Danmark siden 1874. Der er tale om en forøgelse af nedbøren. Og noget tyder på at de voldsomme nedbørsbegivenheder bliver hyppigere. Det vil en del husejere sikkert gerne skrive under på med sommeren 2007 in mente.

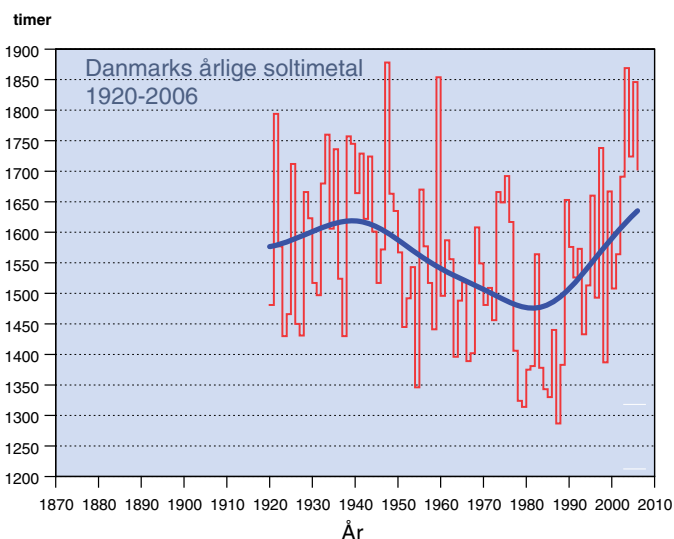
## Solskinstimer

På billedet til venstre ses en gammel solskinstimemåler (DMI's fra Christiansø, det andet billede er foto af en moderne automatisk solskinstimemåler, et såkaldt pyranometer. Et pyranometer måler kortbølget globalstråling. Globalstrålingen er al indkommen stråling modtaget på en horisontal flade fra hele himmelkuglen.

Det elektriske pyranometer (th), som DMI anvender, måler globalstrålingen indirekte ved at anvende temperaturforskellen mellem specielt malede sorte og hvide felter som mål for den modtagne strålingsenergi. Hvert halve minut sammenlignes globalstrålingen derefter med en teoretisk model, afhængigt af breddegrad og årstid, for hvor stor globalstrålingen er ved solskin. Når man skifter målemetode, er det vigtigt at måle parallelt med både ny og gammel metode i et stykke tid, og om nødvendigt at korrigerer gamle data, hvis de to målemetoder giver lidt forskellige resultater. Ellers kan måleserierne vise klimaudviklinger, som ikke er reelle.



Fotos: Anne Mette K. Jørgensen og DMI



har næsten alle år siden 1988 været varmere end normalt, hvor "normalt" er defineret som gennemsnittet for perioden 1961-90, og landstemperaturen har vist en kraftigt stigende tendens i 1990'erne. Selv om 2006 startede relativt koldt, blev året det hidtil varmeste, der er målt med 9,4 °C, og samtidig blev det året med flere varmekorder end nogensinde. Der blev også sat andre vejrrekorder i dette ekstraordinære rekordernes år, og rekordvejret fortsatte ufortrødent ind i første halvdel af 2007 med både varme-, nedbør- og solrekorder. Til sammenligning var det koldeste år i Danmark 1879, det eneste i serien, der kommer under 6 °C.

Siden 1870 er middeltemperaturen i Danmark steget med knap 1,5 °C, og DMI's statistik viser, at stigningen især er sket i de seneste 30 år. Middelværdien af temperaturen siden 1990 er ca. 8,5 °C, hvilket ligger 0,8 °C over gennemsnittet for perioden 1961-90.

## Nedbør

Den gennemsnitlige årlige landsnedbør (normal 1961-90) er 712 mm, men varierer meget

fra år til år og fra sted til sted.

I gennemsnit 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.

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.

### Solskinstimer

Det gennemsnitlige årlige soltimeantal for landet som helhed er 1.495 timer, men det varierer 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.

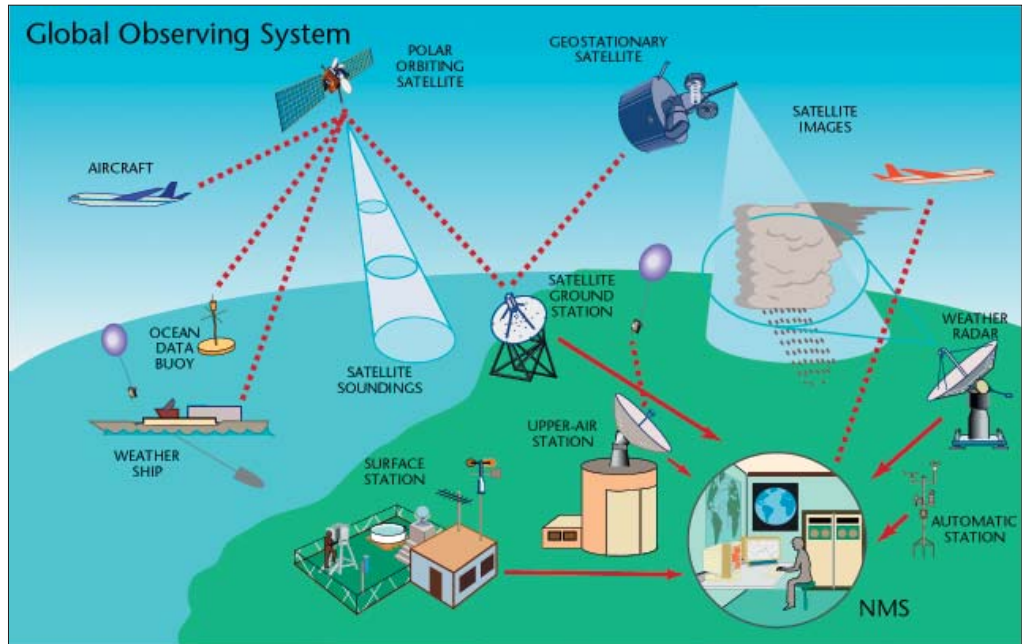
På landsplan er det mest solrige år 1947 med 1.878 timer og det mest solfattige 1987 med 1.287 timer. Solskinstimerne har siden 1980 udvist en tydelig tendens mod flere solskinstimer.

### Vind

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 (10,8 - 13,8 m/s) varierer fra ca. 30 visse steder inde i landet til næsten 170 dage ved Skagen. Storm (over 24,5 m/s) ved de danske kyster er hyppigst i vinterhalvåret og optræder i gennemsnit hvert 3. til 4. år. I december 1999 ramte den hidtil værste orkan store dele af landet, og enkelte steder blev midelvindhastigheder (gennemsnit over 10 minutter) over 40 m/s (næsten 150 km/t) registreret med vindstød op over 50 m/s (omkring 185 km/t).

Der er en tendens til flere kraftige storme i Danmark. Siden 1971 har der således været 14 orkaner og orkanagtige storme, og det er lige så mange som i de foregående 80 år.



# Global overvågning af vejr og klima

Systematisk vejr- og klimaovervågning kræver regelmæssig verdensomspændende observationer af atmosfærens tilstand, kommunikation af disse observationer og behandling i regnearbejde.

Mere end 10.000 bemandede og automatiske landbaserede vejrstationer, 1.000 radiosondestationer med opsendelse af vejrballoner, over 7.000 skibe, mere end 1.000 forankrede og drivende bølger på havet, hundreder af vejr-radarer og over 3.000 specielt udstyrede passagerfly måler forskellige parametre i atmosfæren, på land og på oceanoverfladen hver dag. Dette suppleres i stadig højere grad af satellitter, der siden 1960'erne været med til at revolutionere vores opfattelse af vejrprocesserne og givet meteorologerne et meget større overblik.

Informationerne udveksles konstant landene imellem ved hjælp af et verdensomspændende meteorologisk datanet. Efterfølgende behandles de kolossale mængder af data ved hjælp af computere og bringes på en form, så de kan bruges i de forskellige vejranalyse- og forudsigelsessystemer. Der checkes tillige løbende via en omfattende

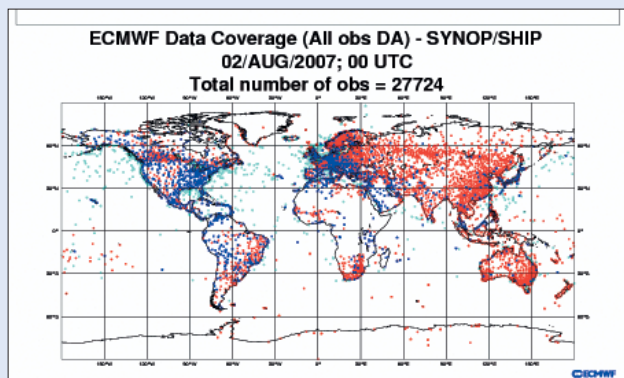
overvågning på data's kvalitet.

Aktiviteterne er koordineret gennem The Global Observing System (GOS) der er en del af World Weather Watch (WWW) under World Meteorological Organization (WMO).

Andre globale netværk tager sig af andre ting som f.eks. hvad der foregår nede i oceanerne og højt oppe i atmosfæren.

Tommelfingerreglen i WMO's

anbefaling siger, at der skal være 100 km mellem stationer, der måler tryk, vindhastighed og -retning, lufttemperatur, relativ luftfugtighed osv. Dette svarer til en station pr. 10.000 km<sup>2</sup>. Andre typer målinger så som nedbør m.m. kræver en større tæthed. På grund af store forskelle i befolkningstæthed og udviklingsgrad er det ikke alle steder muligt at følge disse anbefalinger.



Kortet viser internationalt udvekslede data fra landbaserede primære vejrstationer (røde), luffthavne (blå) og fra skibe (cyan) pr. 2/8-2007. Der findes tilsvarende billeder for radiosonderinger, bølger, fly osv. Billederne afspejler naturligt nok den forskellige geografiske dækning i en verden med store forskelle i befolkningstæthed og udviklingsgrad.



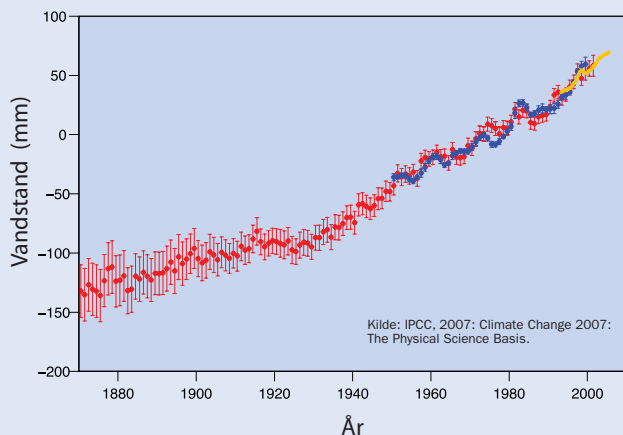
Den tropiske orkan Katrina.

## Global vandstand

Når temperaturen på Jorden stiger som følge af menneskets udledning af drivhusgasser, er der to faktorer, som kan bidrage til globale vandstandsstigninger. Dels udvider vandet sig som følge af opvarmningen, dels smelter gletschere, iskalotter i bjergområder, Grønlands indlandsis og det antarktiske isskjold.

Men stiger verdenshavene så nu? For at besvare spørgsmålet er der brug for observationer fra hele Jorden og over en længere årrække. Der sker nemlig hele tiden (fra år til år og årti til årti) forskydninger i vandstanden. Disse variationer hænger sammen med langsomme, helt naturlige, små skift og variationer i oceanernes strømninger og temperaturforhold. Dermed er der i en given periode nogle steder, hvor oceanet stiger, og andre steder, hvor det falder.

Desuden er der bevægelser af landet på grund af geologiske forhold. Derfor er det ikke nok at se på observationer af vandstanden fra ét sted. Globale data er nødvendige, og her har satellitterne givet meget mere præcis information, end man havde tidligere fra vandstandsmålere langs kysterne. De amerikanske TOPEX/Poseidon-satellitter, hvor den første blev opsendt i 1992 og den efterfølgende Jason-satellitmission har som hovedformål at måle den globale vandstand, så der er detaljerede data tilgængelige fra 1993.



Årligt gennemsnit af den globale middelvandstand i havet (mm). Den røde kurve viser rekonstruerede havspejlsdata siden 1870; den blå kurve viser kystnære vandstandsmålinger siden 1950 og den gule kurve er baseret på satellitmålinger.

### Vandstand

Vandstanden i de danske farvande er generelt steget i de sidste over 100 år. Da Danmark vipper som en følge af fortsat tilpasning af undergrunden efter sidste istids enorme tryk-påvirkning af landområderne, sker der en vandstandsstigning i den sydvestlige del af landet med omkring 1 mm per år aftagende mod nordøst. Stigningen i vandstanden i den sydvestlige del af landet falder oven i købet sammen med geografisk set sårbare områder, hvor store arealer er meget lavtliggende.

Som følge af den fortsatte tilpasning efter istiden er en korrektion for landbevægelser nødvendig, hvis man skal vurdere vandstandsstigninger som følge af klimaændringer. Da disse landbevægelser og en generel vandstandsstigning er svære at skelne fra hinanden, er det svært at se den konstaterede globale vandstandsstigning i de danske data.

### Årsager til klimaændringer

Som det er fremgået, er der sket betydelige klimaændringer i de seneste 150 år, både globalt og i Danmark. Klimaet varierer på mange tidsskalaer, også helt uden ydre påvirkninger, på grund af vekselvirkninger mellem klimasystemets forskellige komponenter. Vulkansk aktivitet og varierende soludstråling påvirker klimaet, men den væsentligste årsag til ændringerne siden ca. 1950 er menneskets påvirkning. Med globale klimamodeller kan man beregne hvilke klimaændringer, forskellige påvirkninger af klimasystemet fører til, og modellerne kan kun simulere den målte udvikling, hvis de påvirkes med både ændret soludstråling, vulkaner og øget drivhuseffekt samt andre menneskeskabte faktorer. Den menneskeskabte påvirkning er påvist i temperaturudviklingen, og for nylig er det også vist, at de menneskeskabte udslip af drivhusgasser har forårsaget skift i de globale nedbørsmønstre. Også klimaet i Danmark er ændret som følge af menneskets påvirkning, selv om det ikke er muligt for enkeltstående vejrbegebenheder at bevise en direkte sammenhæng med klimaforandringerne. ■

### Om forfatterne



Anne Mette Jørgensen er klimatolog og chef for Danmarks Klimacenter  
e-mail: amj@dmi.dk



John Cappelen er seniorklimatolog  
e-mail: jc@dmi.dk

Begge ved Danmarks Meteorologiske Institut  
Lyngbyvej 100  
2100 København  
www.dmi.dk