

Global oppvarming – en innledning

I fire kapitler gir denne første delen en enkel innføring i fenomenet global oppvarming og klimaforskning omkring dette. Stoffet gir bakgrunn om vær og klima som letter lesingen av de neste delene.

I.1 - GLOBAL OPPVARMING PÅ GANG

Over størstedelen av Europa var sommeren 2003 den varmeste som noen gang er blitt målt med termometre på offisielle meteorologiske målestasjoner¹. Slike værrekorder inntreffer fra tid til annen, men denne sommeren var bare så mye varmere enn den forrige rekorden fra 1947. Røde Kors har anslått overdødeligheten gjennom hetebølgen til mellom 22 000 og 35 000 mennesker, og i Frankrike økte dødeligheten med 54%². Varmen var verst i et område rundt Alpene, fra Spania i vest til grensen mot Ukraina i øst (Fig. 1). I forhold til gjennomsnittstemperatur for månedene juni, juli og august for perioden 1961-90 var avvikene i disse områdene større enn 3 °C for disse månedene. Også i store deler av Norge fikk vi varmere rekorder, men tilsvarende avvik var langt mindre, rundt 1 °C.

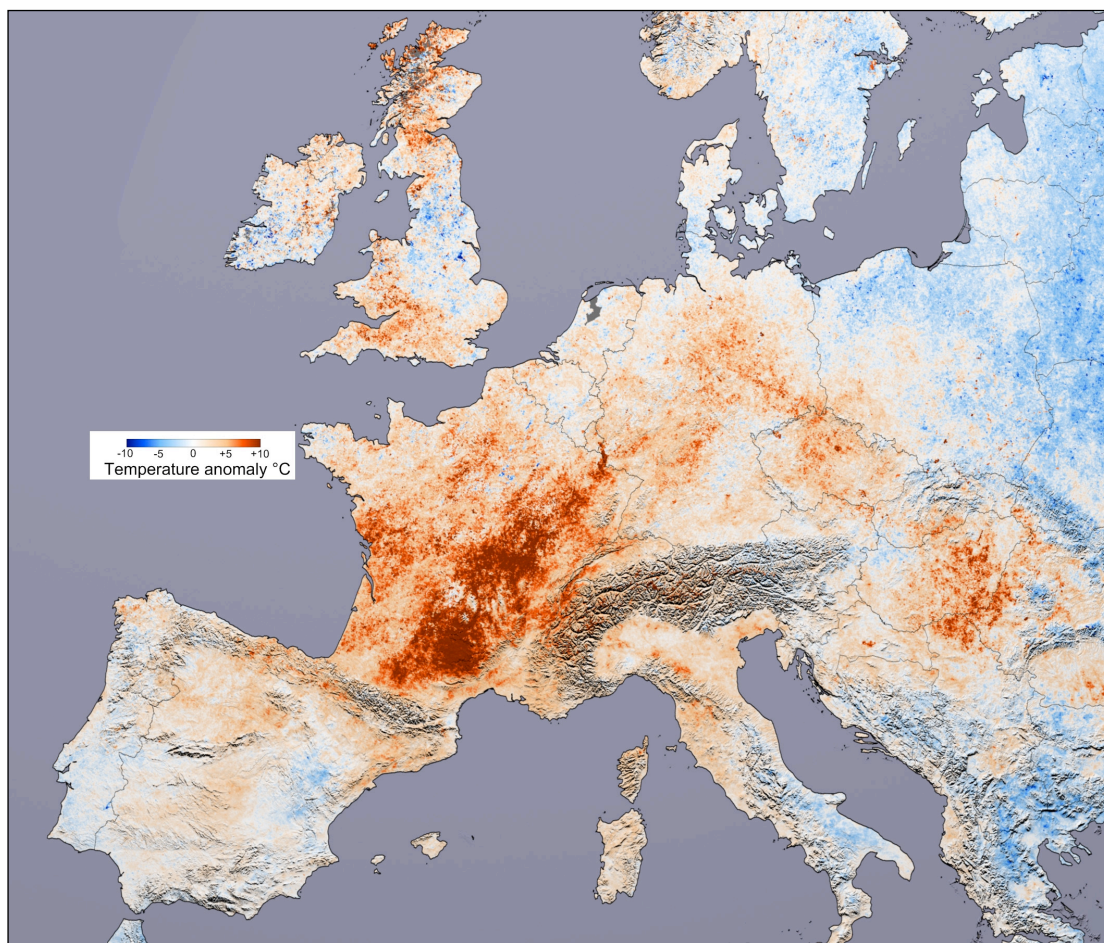


Fig. 1: Avvik i temperatur fra normale forhold under hetebølgen i 2003 (NASA).
http://en.wikipedia.org/wiki/2003_European_heat_wave

Sveitsiske klimaforskere undersøkte sommertemperaturen i 2003 på stasjoner i Sveits med målinger fra 1864³. Temperaturen sommeren 2003 var ekstremt mye varmere enn alle de andre, hele 5,1 °C varmere enn en gjennomsnittstemperatur fra 1864 til 2000. Den nest varmeste sommeren i 1947 hadde et tilsvarende avvik på 2,7 °C. Om en forutsetter at hendelsen i 2003 er mulig i et uforandret *klima*, fant forskerne at den bare kan forventes en gang per flere millioner år. Forutsetningen er helt klart ikke lenger til stede, slik er hetebølgen et tydelig tegn på et klima i endring.

Mange har spurt seg om denne sommeren var et tegn på *global oppvarming* på grunn av økt *drivhuseffekt* skapt av menneskers utslipp av *drivhusgasser*, spesielt *karbondioksid* (CO₂) fra *utslipp fra fossilt brensel*. Klimaforskerer prøver å beregne hvordan klimaet vil endre seg under noen forutsetninger om framtidens utslipp av klimagasser, dvs. tenkte *scenarier* for utslipp. Beregningene gjøres i kompliserte *klimamodeller* og resultatene kaller *klimaprojeksjoner* for framtiden. Forskerne i Sveits undersøkte somrene i visse projeksjoner for *klimaendringer* for slutten av dette århundret. De fant at lignende somrer som i 2003 kan bli svært vanlige over Sør-Europa i et framtidig klima. Enkelte somrer kan bli langt varmere. Videre fant de at et framtidig klima vil ha en større spredning i sommertemperaturene fra år til år enn det har vært i dagens klima. Dette er svært overraskende og bemerkelsesverdig. Ikke bare blir det varmere, men global oppvarming vil gi større variasjon i været fra år til år. For store deler av Europa kan dette gi seg utslag i en veksling mellom tørre, svært varme somre og somre med mye nedbør og *flom* slik som i 2002.

Med dagens kunnskap kan en altså forvente at slike varme somrer som over Sør-Europa i 2003, vil bli mer vanlige i et framtidig klima under global oppvarming. Det er likevel et stykke igjen før en kan fastslå med stor sikkerhet at den varme sommeren 2003 skyldes global oppvarming. Til det er en enkelt hendelse ikke tilstrekkelig. Men varmebølgen var avgjort en advarsel om noe av det Europa kan ha i vente.

Ekstremvær og katastrofer

Media rapporterer til stadighet om katastrofer rundt om i verden knyttet til *ekstremvær*. Mange menneskeliv går tapt, skarer av folk drives på flukt, eiendommer og infrastruktur ødelegges, jordbruket slår feil. Det fins indikasjoner på at de materielle ødeleggelsene har økt de siste årene; anslag for skader for de siste årene har vært flere ganger høyere enn for 1980-årene⁴. Et eksempel på en stor katastrofe var den tropiske orkanen Mitch sent i oktober 1998, den mest ødeleggende orkanen over Honduras og Nicaragua i forrige århundre⁵. Over 10 000 omkom i disse to land, et enormt antall bygninger, veier, broer og skoger ble rasert. For eksempel nevnes det at 72 viktige broer ble ødelagt i Nicaragua. Hundretusener ble hjemløse. Lignende *tropiske sykloner* har herjet flere andre steder i tropene mellom 10 og 20 breddegrader nord og sør (°N og °S). Orkanene gir ofte *stormflo* og oversvømmelse, slik som over New Orleans etter orkanen Katrina i 2005⁶. Det rapporteres også om svære flommer mange steder i tropiske og subtropiske strøk, hendelser som ikke nødvendigvis skyldes tropiske sykloner. For eksempel voldt flommen i Pakistan sommeren 2010 ufattelige ødeleggelser⁷. I tillegg til tropiske sykloner og flom er det *tørke* som er det stor spøkelset i mange land, særlig slike som har lite nedbør fra før. For eksempel har tørken i Namibia og deler av Sahel vart i flere år og skapt hungersnød.

Hendelser i Norge

I vårt land står nyttårsorkanen på Nordvestlandet i 1992 og flommen på Østlandet i 1995 ennå sterkt i minnet⁸. Nedbøren over Østlandet høsten 2000 fikk også stor oppmerksomhet, kanskje mest fordi hovedstadens folk fikk føling med uvanlig vær. Det ble rekordnedbør, noen steder var mengdene markant mye større enn tidligere rekorder for høstmånedene. På stasjonen Bjørnholt i Nordmarka falt det 564 mm bare i november. Det var 470 % over gjennomsnittet for denne måneden for perioden 1961-90. Basert på 118 år med data var

291,5 mm i 1929 og 291,1 mm i 1970 observasjonene som kom nærmest. Det ble beregnet et forventet tidsintervall mellom slike hendelser (*returperiode*) på omlag 600 år⁹ 10.

Årsaker til hendelsene

Ved hendelser med ekstremt vær får meteorologer og klimaforskere gjerne spørsmål fra journalister om det uvanlige været er tegn på menneskeskapt (*antropogen*) global oppvarming. Standardsvaret er at hendelsen kan ha en sammenheng med global oppvarming, men at vi ikke kan dra sikre slutninger fra enkeltepisoder. Dersom det unormale været samsvarer med forventede endringer på grunn av økt drivhuseffekt, slik som sommertemperaturene over Europa i 2003, kan en med større sikkerhet ta hendelsene som tegn på global oppvarming. Det forventes mer nedbør i framtiden mange steder, blant annet mange steder i tropene og på våre bredder. Videre vil en global oppvarming gi mer tørke over områder med tørt klima fra før¹¹. Det forventes også at global oppvarming skal gi sterkere tropiske sykkloner, men dette resultatet er ennå gjenstand for debatt¹¹.



Oversvømmelse nordvest i New Orleans, Louisiana, etter orkanen Katrina, August 2005 (United States Coast Guard).

http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Katrina

Omfang av ødeleggelse som klimaparameter

Den globale oppvarmingen er påvist i meteorologiske målinger, og det er stor sannsynlighet for at oppvarmingen skyldes menneskers utslipp av klimagasser¹¹. Oppvarmingen bekreftes også ved at *isbreer* smelter, *sjøisen* i Arktis minker, havet stiger, vekstsesongen blir lengre på våre bredder etc. Det er imidlertid vanskeligere å påvise om oppvarmingen har ført til mer ekstremt vær av den typen vi har gitt eksempler på. Til det har vi ennå ofte for få hendelser for å gi sikre statistiske utsagn. Ofte kan en likevel støtte seg til meteorologisk teori som uttrykker at visse former for ekstremt vær vil øke når atmosfæren blir varmere og mer fuktig.

Omfanget av ødeleggelse i enkelthendelser egner seg sjelden som bevis på klimaendringer. Når det gjelder tap av menneskeliv, finnes det eksempler på katastrofer i tidligere tider som langt overgår dagens katastrofer. I fortidens ulykker ble ofte tapene større enn i dag fordi teknologi for å temme naturkreftene var mindre utbygd. For eksempel var det i mellomalderen enorme tap av menneskeliv i stormer og stormflo over de lave kystene av Nederland og Tyskland fordi en ikke hadde slike diker som i dag¹². Store flommer i Kina på 1800-tallet kunne ta flere hundre tusen liv. Moderne regulering av vassdrag hindrer mange

ganger rekordflommer og bidrar slik til å spare menneskeliv. Dagens internasjonale hjelpetiltak i sultkatastrofer på grunn av tørke redder en mengde liv. Likevel, en kan også tenke seg at tapene kan bli større i våre dager fordi det simpelthen er flere mennesker på jorda med tette konsentrasjoner mange steder. For eksempel kan rydding av skog og ødelegging av sumpområder føre til større fare for flom.

Nyttårsorkanen var trolig den sterkeste over Norge i forrige hundreår. Returperioden er beregnet til over 200 år¹³. Flommen over Østlandet i 1995 var den største på mange år, men ikke så stor som rekordflommen *Storofsen* i 1789¹⁴. Nedbøren over Østlandet høsten 2000 var relatert til et unormalt strømningsmønster over Nord-Atlanteren med mange lavtrykk inn over Skottland. Slik tok *Islandslavtrykket* en uvanlig posisjon. Dette lavtrykket ved Island kommer fram om en tar gjennomsnittet av mange trykkart over tid. Vi har ingen klare indikasjoner på at slike hendelser kan bli hyppigere under global oppvarming. Det er derfor ikke opplagt å knytte denne hendelsen til global oppvarming.

Usikkerhet

Når det til dels er vanskelig å uttale seg skråsikkert om klimaendringer, skyldes dette blant annet at det er vanskelig å skille mellom *naturlige klimavariasjoner* og klimavariasjoner som skyldes menneskers utslipp av gasser som gir varmere klima. Vi har begrenset kunnskap om hvor store naturlige klimavariasjoner kan være innen en mellomistid (*interglacial*), slik den vi nå er inne i, og vi har ikke tilstrekkelig kunnskap om hvor stor den globale oppvarmingen kan bli. Mangel på sikkerhet gjør naturlig nok folk forvirret. Slik *usikkerhet* blir ikke mindre ved at klimaskeptikere – som i Norge stort sett ikke er klimaforskere - med stor selvsikkerhet hevder at global oppvarming ikke vil finne sted, og at tegn på klimaendringer den siste tiden bare er en del av naturlige variasjoner.

Global oppvarming uunngåelig

Klimaendringer som mennesker er årsak til, kalles gjerne *antropogene*¹⁵ endringer. Begrepet *antropogen* global oppvarming kommer oftest fram i media ved hendelser med *ekstremvær*. Formidlingen av oppvarmingen preges til dels av de usikre svarene forskere som regel gir ved like anledninger. Men det er ikke slik at all kunnskap om global oppvarming er usikker. Det foregår en utstrakt klimaforskning verden over, og svært mye av forskningen gir sikker kunnskap om global oppvarming og dens årsaker. FN's klimapanel IPCC¹⁶ samler alle forskningsresultatene og kommer hvert 5. eller 6. år med sine rapporter, de siste kom i 2007^{11 17 4}. Disse rapportene omfatter det vitenskapelige grunnlaget for klimaendringer, virkninger av klimaendringer på livet på jorda og tiltak for å bekjempe global oppvarming. Til sammen gir rapportene svært gode oppdateringer om vår klimakunnskap basert på klimaforskningen i verden.

Det er verdt å merke seg at det er mye om global oppvarming vi vet med stor sikkerhet: at konsentrasjonene av drivhusgasser i atmosfæren øker fra år til år og at økningen skyldes utslipp fra mennesker. Videre vet vi sikkert at de økte konsentrasjonene gir en økt drivhuseffekt som fører til global oppvarming. Det som er mer usikkert har sin årsak i at vi ikke helt vet hvordan *klimasystemet* vil svare på en økt drivhuseffekt. Vi vet heller ikke så nøye hvor store klimautslipp vi vil få i framtiden.

Hvor alvorlig er den globale oppvarmingen?

Det er vanskelig å svare med stor sikkerhet på spørsmålet om hvor alvorlig den globale oppvarmingen vil bli for livet på jorda. Utslippene øker for tiden etter et *scenario* som IPCC karakteriserer som business-as-usual. Om vil følger denne veien til ende og svir av alle tilgjengelig kilder av fossilt drivstoff, tyder mange forskningsresultater på at det er betydelig risiko for at oppvarmingen blir svært alvorlig for våre etterkommere¹⁷. Det må også legges til at det er en viss sannsynlighet for at oppvarmingen kan bli mindre alvorlig enn mange frykter. FN hevder med styrke at global oppvarming er vår tids største miljøproblem. Verdens helseorganisasjon opplyser at det allerede dør 160 000 mennesker årlig på grunn av global oppvarming¹⁸. Røde Kors opplyser at det er i dag flere mennesker på flukt fra naturkatastrofer enn fra krig. Hans Blix, leder for FNs våpeninspektører, sier han er mer bekymret for global oppvarming enn for store militære konflikter. John Houghton, tidligere leder for IPCC, skriver at global oppvarming er en langt større risiko for verdenssamfunnet enn terrorister¹⁹. Vi er med på det største ukontrollerte eksperimentet menneskeheten noen gang har satt i gang. Selv om verdenssamfunnet skulle lykkes i å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser på et akseptabelt nivå ved år 2100, vil havet stige i flere hundre år på grunn av tregheten i ekspansjonen av havet når temperaturen stiger. Mange forskere frykter i tillegg at *innlandsisene* over Grønland og Vest-Antarktis kan smelte slik at havnivået kan stige med mange meter på sikt^{20 21}.

Hva som må gjøres

Verdens politikere er nå stort sett enige om at klimautfordringene må møtes ved å redusere utslippene av klimagasser og ved å satse på fornybar energi. USA var lenge skeptiske til kunnskapen om global oppvarming og behovet for klimakutt, men president Barack Obama prøver å endre politikken. Ifølge IPCC må utslippene av klimaødeleggende gasser reduseres kraftig – mellom 50 og 85 % innen 2050 - for å dempe oppvarmingen til et akseptabelt nivå ved år 2100.

I 1992 undertegnet de fleste land i verden, inkludert USA, *FNs rammekonvensjon for klimaendringer*, med formål å stabilisere drivhusgasser i atmosfæren på et akseptabelt nivå. *Kyotoavtalen* er et første forsøk på å redusere utslippene og snu trenden i økningene. Målene skal nås for perioden 2008 til 2012, og utslippene skal sammenlignes med utslippene i 1990. Effekten av avtalen har til nå vært bedrøvelig, kanskje katastrofal. For mens økningen i utslippene før avtalen ble ratifisert var cirka 1,5 % per år har den etterpå økt til cirka 3 %²⁰. Håpet var at avtalen skulle utgjøre en snuoperasjon som førte til de første klimakutt, bedre utnyttelse av tilgjengelig energi og utvikling av ulike former for fornybar energi. Verdens ledere uttrykker sin dype bekymring, men politikken er til nå i beste fall preget av gode hensikter.

Norges klimapolitikk er formulert i en klimamelding til Stortinget i 2007²² og et forlik med de fleste parti i Stortinget fra 2008. Verdens mål å dempe den globale oppvarmingen til 2 °C fra den *industrielle revolusjon* til år 2100. Stadig flere mener at det ikke lar seg gjøre å nå dette målet.

Kunnskap til folket

Skal en få gjort noe med utslippene, må folket og deres representanter – politikerne – forstå avsvaret vi har over for kommende generasjoner. Basert på kunnskap må våre holdninger til utslipp endres slik at nødvendige politiske tiltak kan gjennomføres. I denne sammenhengen er det svært viktig at forskere bidrar med formidling av klimakunnskap. Siden mange fortsatt er skeptisk til realitetene i global oppvarming, er slik formidling i betydelig grad preget av kamp. Svært mye er vunnet, i dag er det bare et tidsspørsmål når kunnskapskampen om global oppvarming er over. Det er ennå mange sider ved global oppvarming som ikke er godt forstått. Derfor må forskningen fortsette. Men vi vet mer enn nok til å intensivere forskning på fornybar energi og metoder for å fange opp CO₂ i kull- og gasskraftverk for å lagre det i sedimentære bergarter (*karbonfangst og lagring*; carbon capture and storage, CCS²³). Skal oppvarmingen dempes så det monner, trengs det en revolusjon de neste tiårene bort fra bruk av fossilt brensel til fornybar energi. Og hele verden må med.

- ¹ http://en.wikipedia.org/wiki/2003_European_heat_wave
- ² Grønås, S. 2005. Hetebølgen over Europa 2003 var menneskeskapt. *Cicerone* 01/2005.
- ³ C. Schär et al. 2003. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.
- ⁴ IPCC 2007. *Mitigation of Climate Change*. Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch>
- ⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Mitch
- ⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Katrina
- ⁷ Grønås, S., N. G. Kvamstø 2010. Global oppvarming og ekstremvær. Kronikk, *Bergens Tidende*, 15.9.2010.
- ⁸ Drageset, T-A. 2002. Flommen på Sør- og Østlandet høsten 2000. *Vann*, mars 2002, NVE.
- ⁹ Benestad R.E. & A. Melsom 2002. Is there a link between the unusually wet autumns in southeastern Norway and SST anomalies? *Clim. Res.* 23, 67-79, 7.
- ¹⁰ Grønås, S. 2004. Større variasjoner i været fra år til år. *Cicerone*, 01/2004.
- ¹¹ Climate Change 2007. *The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>
- ¹² Lamb H., Frydendahl K. 1991. *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge University Press.
- ¹³ Grønås, S. 1995. Nyttårsorkanen. *Vær og Klima*, hefte 4, 159. Meteorologisk institutt.
- ¹⁴ NOU 1996: 16. *Tiltak mot flom*. Olje og energidepartementet.
- ¹⁵ <http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropogenic>
- ¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change
- ¹⁷ Climate Change 2007. *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>
- ¹⁸ WHO 2003. Climate change and human health: Risks and responses. Geneva: WHO. Available online at <http://www.who.int/globalchange/climate/en/ccSCREEN.pdf>.
- ¹⁹ Houghton, J. 2003. Global warming is now a weapon of mass destruction. *Guardian*, 28 juni. <http://www.guardian.co.uk/comment/story/0,3604,1007042,00.html>
- ²⁰ Hansen, J. 2009. *Storms of my Grandchildren*. Bloombury Publishing, London, Berlin, New York.
- ²¹ Hansen, J. 2009. *Storms of my Grandchildren*. Oversettelse av utvalgte deler til norsk ved Sigbjørn Grønås. <http://besteforeldre.framtiden.no/joomla15/images/stories/Storms.pdf>
- ²² Miljødepartementet 2007. *Stortingsmelding nummer 34, 2006-2007*: Norsk klimapolitikk. 22. juni.
- ²³ http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage

I.2 - VÆR OG KLIMA - KLIMASTATISTIKK

Vi har alle kjent på kroppen hvordan været veksler fra dag til dag, fra årstid til årstid og fra år til år. Til sammen utgjør alle slike variasjoner i været vårt klima, som kan defineres ved statistikk om værforholdene over mange år. Eldre folk kan fortelle om forandringer i klimaet og om hendelser med ekstremt vær, slik som en uvanlig sterk storm eller en flom. Da jeg var gutt omkring 1950, fortalte de gamle om tørrere og varmere somrer før krigen. Senere har jeg truffet mange som har gjort seg refleksjoner om vær og klima og om sammenhenger de har lagt merke til. Mye er interessant, men mange undervurderer hvor komplisert klimasystemet er. Folks klimaerfaring er selvsagt subjektiv, men interessant når den kan dokumenteres. Det fins mange eksempler på at folks dagbøker har vært av verdi for klimaforskning. Senere skal vi se at bønders nedtegnelser på 1700-tallet om arbeidet på gårdene har bidratt til å anslå sommertemperaturer i Norge før offisielle målinger ble vanlige.

Meteorologiske målinger

Forskere ønsker først og fremst å studere klimaet ut fra loggførte observasjoner av været. Til det trengs instrumenter. Først på 1600-tallet begynte vitenskapen å interessere seg for å måle naturen. De første meteorologiske instrumentene var barometeret og termometeret. Kvikksølv ble den viktigste bestanddelen i begge. Evangelista Torricelli fikk æren av å finne opp barometeret¹. Det skjedde i 1643. Flere forskere i flere land var samtidig opptatt av å utvikle instrumenter. Det ble konstruert barometre i England, og det ble observert at været skifter med endringer i lufttrykket. På den måten ble ulike værtyper knyttet til ulike nivåer på lufttrykket, relasjoner som i dag gjerne finnes på hobbybarometre.



Moderne aneroidbarometer.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Barometer>

På begynnelsen av 1600-tallet fantes det ingen metoder til å måle varme og kulde. Om en lege skulle bestemme om en pasient hadde feber, ble diagnosen stilt etter at hånden var blitt lagt på pasientens panne. Å måle varme ble etter hvert en utfordring i lærde kretser i flere land. Den første løsningen ble kalt et termoskop. Dette instrumentet ble bygd på prinsippet om at luft utvider seg når temperaturen stiger. Benedetto Castelli skrev i 1638 at han hadde sett et slikt instrument i Galileo Galileis hender rundt 1603². Italieneren Santorio Santorio blir imidlertid vanligvis kreditert for oppfinnelsen, som trolig fant sted i 1612³. Andre steder i Europa ble det like etter utviklet lignende instrumenter som ble brukt til å måle lufttemperaturen. De nesten samtidige oppfinnelsene illustrerer trenden i den tiden til å måle og kvantifisere elementer i naturen.

Det tok lengre tid før en fikk universale standarder for måling av temperatur og trykk. Hver forsker hadde gjerne sin egen standard, og det er f. eks. vanskelig å konvertere de første temperaturmålingene i atmosfæren til dagens skala. Vitenskapelige standarder for trykkmålinger i millibar eller hektopascal fikk vi først etter iherdig innsats fra Vilhelm Bjerknes før den siste verdenskrigen⁴. Tidlig på 1700-tallet kom de første universelle skalaer for temperatur knyttet til forskere som Fahrenheit (1686-1736), Celsius (1701-1744) og Réaumur (1683-1757). I dag brukes først og fremst skalaen til svensken Anders Celsius som ved et referansetrykk ved jordas overflate setter 100 °C mellom temperaturen for smeltende is og vanddamp ved koking. Fahrenheitskalaen er også ennå i bruk. I tillegg har vi fått en vitenskapelig standard som måler temperaturen i grader Kelvin (K) (1 K er lik 1 °C, men null °C er ved 273,15 K)^{5 6}.



Anders Celsius (1701-1744).
http://en.wikipedia.org/wiki/Anders_Celsius

La oss skyte inn at vanlig standard i vitenskapen er i dag SI-systemet⁷. Her er meter (m), kilogram (masse, kg), sekund (s) og absolutt temperatur (K) de grunnenehetene vi trenger. Aktuelle avledede størrelser, slik som uttrykk for kraft, trykk og energi, finner vi i Tab. 1. I mange sammenhenger brukes det såkalte SI-prefikser for å angi store eller små grunneneheter og avledede størrelser (Tab. 2). Eksempler er en milliondel meter og en milliard watt som skrives μm (mikrometer) og GW (gigawatt).

Navn	Symbol	Størrelse	SI-enheter
Hertz	Hz	Frekvens	s^{-1} (eller 1/s)
Newton	N	Kraft	kg m s^{-2}
Joule	J	Energi	$\text{m N} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
Watt	W	Effect	$\text{J/s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$
Pascal	Pa	Trykk	Nm^{-2}

Tab. 1: Aktuelle avledede størrelser i SI-systemet²¹. Grunnehetene er kilogram (kg), sekund (s) og meter (m).

Potens	Prefiks	Symbol	Navn	Desimaltall
10 ¹⁵	peta	P	Billiard	1E+15
10 ¹²	tera	T	Billion	1E+12
10 ⁹	giga	G	Milliard	1000000000
10 ⁶	mega	M	Million	1000000
10 ³	kilo	k	Tusen	1000
10 ²	hekto	h	Hundre	100
10 ¹	deka	da	Ti	10
10 ⁻¹	desi	d	Tidel	0,1
10 ⁻²	centi	c	Hundredel	0,01
10 ⁻³	milli	m	Tusendel	0,001
10 ⁻⁶	mikro	μ	Milliondel	0,000001
10 ⁻⁹	nano	n	Milliarddel	0,000000001
10 ⁻¹²	piko	p	Billiondel	1E-12

Tab. 2: Prefikser som forteller hvilken tierpotens man må gange måletall med.

Etter hvert ble det tatt regelmessige målinger av temperatur og trykk ved noen læreseter rundt om i Europa. Målingene ble gjort på litt ulike måter på de forskjellige stedene. I ettertid har en prøvd å korrigere disse målingene for forskjellige typer feil for å få dem i samsvar med dagens målinger etter internasjonale standarder utarbeidet av verdensorganisasjonen World Meteorological Organisation (WMO)⁸. Det fleste slike korreksjoner av gamle data er gjort for temperatur. Den lengste måleserien i verden av lufttemperatur skriver seg fra målinger sentralt i England (Central England Temperature series). Denne serien går tilbake til 1659 og ble først konstruert av professor Gordon Manley⁹. Dataserien er senere blitt oppdatert på nytt siden 1772¹⁰ og blir nå kontinuerlig oppdatert av Hadleysenteret, et av de aller viktigste klimasentrene i verden¹¹. Resultatene utgjør et estimat av gjennomsnittlig månedstemperatur basert på målinger fra flere observasjonssteder sentralt i England. Anslagene fra de første årene skriver seg fra målinger i Oxford, samt opplysninger i forskeres dagbøker.



Tradisjonell norsk værstasjon med måling av temperatur to meter over bakken med instrument skjermet for stråling i hvit hytte med god luftning. Nedbørmåler til høyre. Glomset værstasjon i Skodje (Møre og Romsdal). <http://sivle.mother.no>

Lengste måleserie i Norden for temperatur har vi fra Uppsala/Stockholm¹². Den går tilbake til 1722, mens en serie fra Trondheim går tilbake til 1760. Målingene i Trondheim startet på initiativ av Vitenskapsselskapet i Trondheim under ledelse av Gerhard Schöning. Målingene

fra Uppsala/Stockholm er korrigert og blir regnet for å ha brukbar kvalitet også for de første årene. Serien fra Trondheim er ikke pålitelig for de første årene¹³.

Internasjonal standardisering av målinger fikk vi først etter at meteorologiske statsinstitusjoner ble opprettet i de fleste land i Europa fra cirka 1860 og utover. I Norge opprettet Stortinget Meteorologisk institutt i 1866. Henrik Mohn ble ansatt som første direktør og samtidig som professor ved Universitetet i Oslo. Da var han 31 år gammel, og han hadde stillingen i 47 år! Han gjorde en uvurderlig innsats for blant annet å opprette meteorologiske målestasjoner i Norge og var vår første forsker i meteorologi. Fra Meteorologisk institutt (met.no) har vi nøyaktige temperatur- og trykkmålinger fra mange stasjoner over hele landet siden 1880 og nedbørmålinger fra cirka 1900. I tillegg fins det blant annet lange serier med vindobservasjoner på en del steder langs kysten. Noen trykkmålinger går spesielt langt tilbake i tid. På Island fins et datasett med daglige målinger som går tilbake til 1820¹⁴.

Klimastatistikk

Har en lange serier med målinger på et sted, kan en definere klimaet ved statistiske beregninger. Etter standarder fra World Meteorological Organisation (WMO) lager meteorologene værstatistikk over perioder på 30 år. Således utgir Meteorologisk institutt (met.no) statistikk for perioden 1961-1990 for sine stasjoner for å uttrykke klimaet i Norge. På [met.nos](http://met.no) hjemmesider kan en finne slik statistikk for temperatur og nedbør for en mengde steder, representative for de fleste kommuner i landet. For temperatur er det nærliggende å uttrykke klimaet med gjennomsnittlige verdier, for eksempel gjennomsnittlig temperatur for hver måned over tretti år. For nedbøren presenteres summer tatt som gjennomsnitt for hver måned. En slik gjennomsnittsverdi av temperatur og nedbør – kalt normal når den beregnes for offisielle perioder på tretti år - er summen av alle målinger innenfor samme måned over disse årene dividert på antall observasjoner (der temperatur måles bare noen få ganger i døgnet, kan det brukes spesielle metoder for å angi gjennomsnitt over et døgn).

I sine værmeldinger på radio leste meteorologene tidligere opp den aktuelle temperaturen i Oslo, Bergen eller Tromsø. Denne temperaturen ble gjerne sammenlignet med normaltemperaturen. De eldste av oss husker med glede Leif Justers raljering over uttrykket ”mot normalt”. Gjennomsnittet kalles også en middelværdi eller et middel. Statistikere foretrekker å bruke uttrykket *forventet verdi*. Døgnets maksimum- og minimumstemperatur måles i tillegg til målinger på faste tider. Dersom en vil vite hva neste års midlere maksimumstemperatur for eksempel vil bli for august, og en ikke har noen metode for å varsle dette, vil forventet maksimumstemperatur gi det beste anslaget. Et slikt gjennomsnitt over de siste årene gir det beste estimat for hva som kan ventes.

Klimastatistikk gir også uttrykk for hvordan været varierer, for eksempel hvor mye en værparameter varierer innenfor en måned eller fra år til år. Det fins mange statistiske mål som uttrykker slik variasjon. Et enkelt mål er forskjellen mellom høyeste og laveste måling, som kalles variasjonsbredden. Et mye brukt mål for variasjon er *standardavvik*, som er et mål for typisk variasjonsbredde omkring et gjennomsnitt. Standardavviket beregnes ved å summere kvadratet av alle avvik fra midlet, ved å lage et middel av disse kvadratavvikene og til sist danne kvadratroten. En kommer ut med et tall som har samme enhet som målingene.

Dersom en har beregnet midlere minimumstemperatur for hver januar i for eksempel 30 år, vil standardavviket for disse 30 månedene uttrykke hvor mye månedstemperaturen har variert fra år til år i forhold til et middel over alle årene.

En kan tilpasse observasjoner over en lang periode til en såkalt *tetthetsfordeling for sannsynlighet* som uttrykker sannsynligheten for at en den aktuelle variable skal være innenfor et visst intervall, for eksempel et temperaturintervall. Ofte kan en tilpasse til en normalkurve, som beskrives matematisk ved de to størrelsene gjennomsnitt og standardavvik (se Fig. 1). En normalkurve har en klokkefordeling, dvs. en symmetrisk fordeling om et forventet gjennomsnitt. Slik angir det høyeste punktet på kurven forventet verdi og standardavviket en forventet variasjon omkring gjennomsnittet. Er standardavviket stort, blir normalkurven flat; omvendt er kurven smal om standardavviket er lite. Flateinnholdet under kurven er alltid lik 1, dvs. at det gir uttrykk for alle mulige verdier variabelen kan ha. Det er slik at arealet mellom pluss/minus ett standardavvik gir 67 %

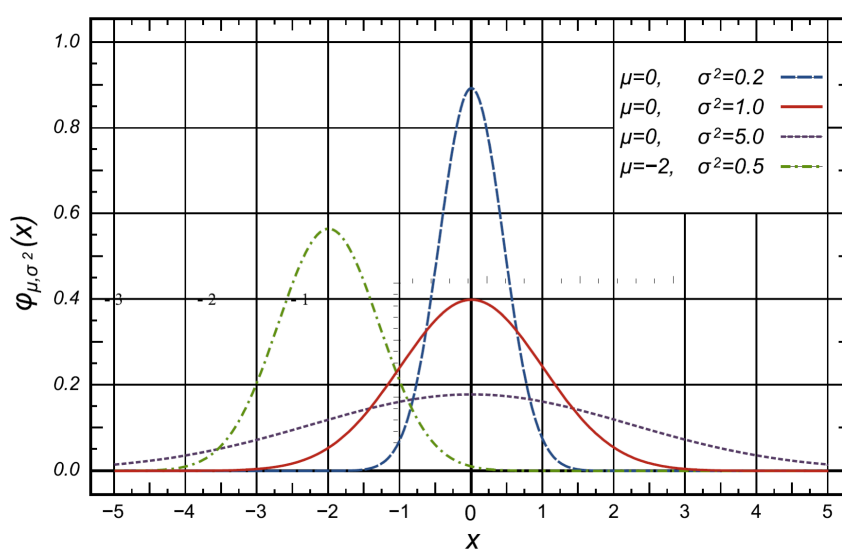


Fig. 1: Fire eksempler på normalfordelinger der middelet, μ , og variansen, σ^2 (standardavviket ganget med seg selv), varierer. X-akse: normalisert verdi for en variabel; y-akse: tetthet for sannsynlighet, PDF.
http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution

sannsynlighet for at en variabel ligger innenfor dette intervallet. Pluss/minus to standardavvik gir tilsvarende 95 % sannsynlighet. Det er slik mindre enn fem prosents sjanse for verdier utenfor pluss/minus to standardavvik. Standardavviket for middeltemperaturen i august i Bergen er 2,0 °C beregnet for de siste 30 år fram til og med år 2007. Dette betyr at 95 % av variasjonene i denne temperaturen – om den er normalfordelt og det ikke er i en systematisk forandring (trend) - fra år til år ligger innen for $\pm 4,0$ °C fra et gjennomsnitt på 14,8 °C. Statistikere bruker igjen uttrykket forventet variasjon. En kan slik forvente at middeltemperaturen i august med 95 % sikkerhet vil variere mellom 10,8 og 18,8 °C.

Studerer en hvert av de 30 årene er laveste observerte verdi 12,7 °C (langt over 10,8 °C) og høyeste verdi var 19,5 (over 18,8). Det viser seg å være en systematisk økning i temperaturen gjennom perioden, en økning en ofte kaller en trend, i dette tilfellet en lineær trend på 2,2

°C over hele perioden, dvs. en jevn økning framstilt som en stigende linje gjennom datapunktene. Det viser seg at det i dette materialet er liten sannsynlighet for at denne trenden er oppstått på slump. Dette betyr at temperaturen i dette tilfellet ikke er normalfordelt. Det er på ingen måte noen enkel oppgave å estimere forventet temperatur for neste års augusttemperatur. Trolig er det liten sjans for temperaturer under 12 °C og gode sjanser for temperaturer over 17 °C.

Ekstremvær

Våre forfedre hadde godt kjennskap til vårt klima uten tilgang til klimastatistikk. I større grad enn oss var de avhengige av været i sitt daglige virke som bønder, fiskere og som et sjøfarende folk. I norrøn tid visste folk godt at de levde i et klima som var vanskelig å overleve i. De visste om store variasjoner i været fra år til år og var spesielt redd for lange, kalde vintre som kunne true den korte vekstsesongen. Fra år til annet opplevde en slik en tung vinter, og den kunne de kanskje tåle. Det verserte trolig fortellinger om at det en gang fant sted to slike vintre på rad som ga uhyggelige lidelser (se Del VII, kap.1). De forestilte seg at tre slike harde vintre på rad kunne ingen overleve. Da kom verdens undergang, Ragnarok. Disse tre vintrene som skulle komme før Ragnarok, ble kalt Fimbulvinteren¹⁵. I uår med kulde lurte de på om den lange vinteren alt hadde startet. Dette leder oss inn på ekstremvær og ekstremstatistikk.

I tillegg til gjennomsnitt og uttrykk for variasjon omfatter en definisjon av klima også anslag om ekstremt vær. For eksempel prøver meteorologene å uttrykke forventet maksimal vindstyrke på en stasjon. Ofte blir slike ekstremverdier uttrykt som vindstyrken som forventes å opptre kun en gang hvert femtiende år eller en gang hvert hundre år osv. Vi snakker om en *returverdi* for en *returperiode*. Da en skulle bygge oljeboringsplattformer i Nordsjøen, måtte konstruktørene vite hvor høye havbølgene kunne bli. Ut fra målinger og teoretiske analyser anslo en hvor høye bølgene kunne forventes å bli en gang per hundre år. Dette ble uttrykt i begrepet hundreårsbølgen¹⁶. Ekstremstatistikk er vanskelig å beregne og krever lange dataserier. Flere forutsetninger må tas før en kan få fram pålitelige tall.

Ulike statistiske metoder gir ulike anslag, eller estimat som statistikere sier. Slik er all klimastatistikk estimat for forventet verdi, variasjon og ekstremer. Noen ganger er en i stand til å angi usikkerhet i slike estimat. Når en for eksempel vil angi et estimat for midlere temperatur over et geografisk område - *global overflatetemperatur* om det midles over hele jordoverflaten - vil estimatet av flere grunner ha en usikkerhet. En kilde er at en ikke har målinger jevnt fordelt over hele jorda, en annen at observasjonene ikke trenger å være representative for omgivelsene. Slik er det mange feilkilder, og selv med dagens målenett ved jordoverflaten vil en årlig global gjennomsnittstemperatur ha en betydelig usikkerhet. Klimatologer prøver å anslå slike feil, ved å angi en grad av tiltro (*konfidens*), ofte ved et konfidensintervall uttrykt ved sannsynligheter.

Jo flere uavhengige målinger en har for å beskrive en klimaforskjell, desto sikrere er resultatet. Metodene som brukes kan avgjøre sannsynligheten for en hypotese om at to middeltall er ulike skal holde. Dersom sannsynligheten er stor, f. eks. over 95 %, blir det sagt at tallene er signifikant ulike på dette sannsynlighetsnivået. Slik kan en uttrykke om klimarelasjoner er sikre, f. eks. om klimaet har endret seg med signifikant sikkerhet.

Betydningen av klimaendringer

En ting er å beregne klimastatistikk, en annen ting er å ha kunnskap om hva en klimaforskjell eller klimaendringer betyr for oss. En trenger å forestille seg bilder av dette. I et radioprogram på NRK ble jeg en gang spurt om *den lille istid*. Dette er en periode på noen hundre år fram mot slutten av 1800-tallet da det var kaldere enn i dagens klima. Ikke minst var dette tilfelle over det meste av Europa, der både temperaturmålinger og indirekte data (*proksidata*, for eksempel utbredelsen av isbreer) gir ganske sikre bevis for at dette var tilfelle. Programlederen tok opp temaet fordi engelske media nylig hadde omtalt forskningsresultater som tydet på at temperaturen over England hadde økt med nesten en grad siden den lille istid. Var en endring på en grad noe å bry seg om? En grad kan bety mye for snødekket og is på hav og elver i et klima der temperaturen veksler omkring null. Eksempler er isforholdene i Østersjøen, Skagerrak og i fjordene på Vestlandet. Så sent som på midten av 1800-tallet har vi sikre beretninger om at folk i Bergen gikk på skøyter til Askøy. I dag er det sjelden at det i det hele tatt er is i disse fjordene.

Vårt klima har på mange måter vært marginalt for bosetning. Det er derfor innlysende at klimavariasjoner, som den lille istid, har betydd mye i vår historie. Ikke minst har den betydd mye for vårt jordbruk og vår jordbruksbosetning, som i europeisk målestokk alltid har hatt marginal karakter. Grensen for åkerbruk skjærer gjennom landet på den måten at lengst mot nord og høyest opp mot fjellet har det ikke vært mulig å dyrke korn. Mer enn i de fleste andre europeiske land har avlingenes størrelse langt oppover i historien vært et spørsmål om liv eller død. Derfor er også vår historie svært rik på beretninger om uår fra denne tiden. Nedgangstider i landet vårt har i stor grad blitt knyttet til en forverring av klimaet. Den lille istid medførte slik store vansker for våre forfedres daglige liv.

Jeg må likevel innrømme at selv i ettertid er det ikke så enkelt å gi et godt svar på spørsmålet om hva en endring på en grad betyr. Vi er mest interessert i følgene av en klimaendring på natur og samfunn. Slike sammenhenger er et fag i seg selv der jeg bare er en amatør. En illustrativ metode for å få fram et bilde på hva en klimaendring betyr, får en ved å studere geografiske klimaforskjeller i dagens klima. Med denne metoden kan en illustrere en viss klimaendring, f. eks. representert ved temperaturen, ved å flytte seg geografisk mellom ulike steder. I dag er forskere i ferd med å bruke slike metoder for å gjøre det enklere for folk som politikere. På en konferanse jeg var på fant en ut at København i framtiden ville få et klima som i Paris, og at planleggere i København burde studere klimaets betydning for Paris. Noen advarte mot dette fordi folk i Danmark ville se på dette som en gledelig utvikling. Da en minnet om alle dødsfallene i Paris under hetebølgen i 2003, kom det en viss balanse i sammenligningen. Metoden kan være grei om en vurderer en enkelt parameter som temperatur, men blir langt vanskeligere å gjennomføre om en samtidig vil inkludere andre parametre som nedbør og vind.

En kan flytte klimasoner ved å utnytte at temperaturen avtar med høyden over havet, i gjennomsnitt 0,6 °C per hundre meter i den frie atmosfære. Nordmenn flest bor i et landskap der høyden over havet, og dermed klimaet, varierer betraktelig. Som en første tilnærming vil en klimaendring på minus 1 °C tilsvare klimaet en har 167 m over det stedet en sammenligner med.

Global oppvarming kan illustreres ved å flytte klimasoner horisontalt. Slike sammenligninger må bruke målestasjoner med omtrent samme høyde over havet og samme avstand fra havet. Lettest blir det å sammenligne temperaturer på typiske kyststasjoner. Undersøker vi slike stasjoner fra Lindesnes til Røst, varierer årlig middeltemperatur for perioden 1961-90 fra 7,4 til 5,4 °C. Det er cirka en grad kaldere ved grensen mellom Møre og Sør-Trøndelag enn på kysten av Vest-Agder og Rogaland og videre en grad fra denne grensen til Lofoten. Største endringer finner vi fra Mørgekysten, hvor Vigra har 6.8 °C, til kysten av Sør-Trøndelag, hvor Ørland har 5.9 °C. Denne store endringen har sin årsak i våre fjells betydning på klimaet. En økning på en grad i årlig middeltemperatur kan da for Mørgekysten bety et klima som på kysten av Rogaland, eller at klimaet i Lofoten blir som på kysten av Møre. I fjellandskap er det vanskeligere å gjøre slike sammenligninger fordi temperaturene varierer mye lokalt.

Geografiske forflytninger for å illustrere klimaendringer har sine begrensninger. De forutsetter at storstilte sirkulasjoner i atmosfæren ikke endrer seg, for eksempel at lavtrykksbanene ikke endrer seg. Det er som regel bedre å studere endringer i kontinuerlige målinger på et sted. Siden 1960 har temperaturen i Bergen økt med nærmere 1.0 °C og nedbøren med cirka 20 %¹⁷. Dette er en stor endring som mange har opplevd. Spør en folk hva de har lagt merke til av slike endringer, får en mange svar. Mange vil huske at en tidligere hadde flere kalde vintre med skøyteis på de fleste vann. Andre vil huske at de før var flere perioder med lite nedbør og vannmangel. Atter andre vil se på tregrensene som har vokst betraktelig oppover i fjellet og utover mot kysten. De fleste vil si at det siste skyldes at så mange sauer er blitt borte. Som kjent holder sauer kulturlandskapet ved like ved å spise opp unge spirer. Andre vil peke på at høyere konsentrasjon av CO₂ i lufta gjør at plantene vokser bedre (*karbondioksidgjødsling*). Dette er også rett, men tilgroingen er også et resultat av lengre vekstsesong og høyere temperatur.

Vi mennesker reagerer på skiftende vær, men det er ikke sikkert vi reagerer så mye på klimaendringer av den størrelse vi har vært inne på. At nedbørmengdene øker med 20 % betyr likevel mye for energiproduksjonen i våre vannkraftverk. Mindre snø om vinteren betyr selvsagt mye for skiturisme på utsatte steder. Slik kan en nevne en rekke forhold som har endret seg på de siste 40 år. Kanskje er det slik at planter og dyr reagerer mer på klimaendringer enn vi mennesker. Tilgroingen er et godt eksempel, andre eksempler går ut på at nye dyr som iberiasneglen, trives bedre enn tidligere.

Endringene siden 1960 innbefatter endringer i luftstrømmene, slik som lavtrykksaktivitet og lavtrykksbaner. Vintrene de siste årene har vært preget av lavtrykk og milde luftmasser fra vest og sørvest i Norskehavet og Barentshavet. Vintrene på 1960-tallet var mer preget av høytrykk over Skandinavia som en utløper av vinterhøytrykket over Sibir (*Sibirhøytrykket*). Vinteren 2009/2010 fikk vi igjen en slik kald vinter¹⁸.

Vind og vær

I vårt land har vi store lokale klimavariasjoner som skyldes strøm over fjell og ulik avstand fra kysten. Før 1960 var NRK radio nesten den eneste formidler av værmeldinger. Fiskere og sjøfolk er ennå ivrige lyttere til værmeldinger på radio. Det fortelles at når værmeldingen

tidligere kom over høytalere i salongene på Hurtigruta, ble det momentant stille, alle lyttet. Men så snart vinden var varslet, slapp konsentrasjonen om værmeldingen taket, og praten startet opp igjen. Årsaken var nok at vinden er viktigst til sjøs. Folk som er avhengige av været i sitt yrke, vet at når vinden er gitt, kjenner en også ganske mye om resten av været, som nedbør og temperatur. I et fjelland som vårt er det ofte slik at folk må lage sine egne lokale værvarsler ut fra kjennskap til den mer storstilte vinden som varsles. Slik vet folk hvordan vinden tar lokalt på deres sted og samtidig en del om nedbør og temperatur. I våre dager har journalister i stor grad overtatt formidling av værmeldinger. Dessverre nevner de ofte været først og vinden blir ofte utelatt. Slik vil folks kunnskap om vindens forutsetning for været lett bli mindre.

Det fins en lang tradisjon i vårt land til å knytte været til vindretningen. På Vestlandet sier vi for eksempel ”sønnvind og vatn”. En slik tradisjon er allmenn, men hva slags vær en legger i de forskjellige retningene varierer selvsagt. I evangeliet etter Lukas (12,54) sier Jesus følgene som et eksempel på menneskelig kunnskap: ”Når dere ser det skyer til i vest, sier dere straks: Det blir regn, og det blir slik. Og når dere merker at det blåser fra sør, sier dere: Nå blir det varmt, og det blir slik.”

Lignende kunnskap har vi også i vårt land, kanskje spesielt blant sjøens folk, der kunnskap om været kan gjelde liv og død. Dette får vi innsikt i ved å lese *Kongespeilet* (cirka 1250)¹⁹, som representerer det ypperste av europeisk middelalderkunnskap om været. Forfatteren legger stor vekt på å lære fra seg fakta om været, noe han gjør med forbausende realisme målt etter dagens kunnskap. Sjøfart om vinteren frarådes, noe som understreker de vanskelige forhold vårt klima har gitt for sikker ferdsel på havet.

Kongespeilet beskriver typisk vær på de forskjellige vindretningene med stor realisme. I våre dager vet vi om hvordan vindretningene endrer seg etter som et lavtrykk passerer. Bergenskolen i meteorologi laget den første realistiske modell for lavtrykk (*utenomtropiske sykkloner*) og deres utvikling med *fronter*. Slik knyttet de ulikt vær til posisjoner i lavtrykket. Den islandske meteorologen Páll Bergthorsson har påpekt hvor godt Kongespeilets beskrivelser stemmer over ens med Bergenskolenes syklonmodell²⁰. Bergthorsson mener at vikingene brukte slik kunnskap til å navigere. Ved å observere vinden og været visste de omtrent hvor nord var.

Om vi definerer værtyper ut fra vindretningen, kan vi telle opp hvor ofte de ulike værtyperne inntreffer i vårt klima til ulike årstider. En kan da tenke seg at klimaendringer gir seg utslag i at hyppigheten til de ulike typene endrer seg. Global oppvarming vil arte seg som en viss generell oppvarming, men vil trolig også kunne oppleves som om visse værtyper blir mer vanlige på bekostning av andre. Om ikke endringene blir alt for store, kan en tenke seg at været veksler som tidligere fra dag til dag og fra år til år, men at visse værtyper blir sjeldnere og andre hyppigere. Om en studerer klimaendringene de siste 50 åra, finner en større innslag av sørvestlig vind inn over vårt land i våre vintrer enn tidligere. Meteorologer har prøvd å lage seg værtyper på andre måter enn etter vindretningen, typer som kan gjelde over store geografiske områder som Nord-Atlanteren. Dette kommer vi tilbake til.

Før vi skal studere scenarier for framtidige klimaendringer, er det viktig å undersøke naturlige klimavariasjoner oppover i historien. Dette gir oss en bakgrunn for å sammenligne variasjoner fra år til år, fra dekadene til dekadene og fra århundre til århundre. Miljø, menneskelig aktivitet og historisk utvikling har vært påvirket av disse klimavariasjonene. Slik som framtidige klimavariasjoner bare kan forstås mot en bakgrunn av observert klimavariasjon, slik kan også effekten av framtidige klimaendringer bare forstås på bakgrunn av kunnskap om hvordan klimavariasjoner påvirket livet i tidligere tider.

- ¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Evangelista_Torricelli
- ² http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei
- ³ http://en.wikipedia.org/wiki/Santorio_Santorio
- ⁴ http://no.wikipedia.org/wiki/Vilhelm_Bjerknes
- ⁵ <http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature>
- ⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Celsius>
- ⁷ <http://no.wikipedia.org/wiki/SI-systemet>
- ⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/World_Meteorological_Organization
- ⁹ Manley, G. 1974: Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 100, 389-405.
- ¹⁰ Parker, D.E., T.P. Legg, and C.K. Folland, 1992: A new daily Central England Temperature Series, 1772-1991. *Int. J. Climatol.*, 12, 317-342.
- ¹¹ <http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/obsdata/cet.html>
- ¹² Moberg A. et al. 2002. Daily Air Temperature and Pressure Series for Stockholm (1756–1998). *Climatic Change*, 53, 171-212.
- ¹³ Nordli, P.Ø. 2004. Spring and summer temperatures in Trøndelag 1701 – 2003. Norwegian Meteorological Institute (met.no), Report No. 5, 21 pages.
- ¹⁴ Jónsson, T., and M. W. Miles 2001. Anomalies on the Seasonal Cycle of Sea Level Pressure in Iceland and the North Atlantic Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 28(22), 4231–4234.
- ¹⁵ <http://no.wikipedia.org/wiki/Fimbulvinter>
- ¹⁶ <http://no.wikipedia.org/wiki/Hundre%C3%A5rsb%C3%B8lge>
- ¹⁷ Grønås S., Kvamme D., Teigen R. 2005. Og regnet strømmet ned på jorden. *Cicerone* 01/2005.
- ¹⁸ Grønås, S. Fimbulvinter. *Kronikk Bergens Tidende*, 13.02.2010.
- ¹⁹ <http://no.wikipedia.org/wiki/Kongespeilet>
- ²⁰ Bergþórsson, P. 2000. *The Wineland Millennium. Saga and Evidence*, trans. Anna H. Yates, Mál og menning, Reykjavík.
- ²¹ <http://no.wikipedia.org/wiki/Kategori:SI-enheter>

I.3 - INNFØRING I HISTORISKE KLIMAENDRINGER

Gjennom klimahistorien – mange millioner år tilbake i tid – har vår planet gjennomgått enorme naturlige klimavariasjoner fra perioder med tykk is ned til ekvator (*snøballjord*) til perioder med nærmest tropisk klima i Arktis. De store variasjonene forteller oss at klimasystemet er svært sensitivt for ytre påvirkninger som endring i solstrålingen og endringer i atmosfærens sammensetning. Derfor er historiske klimaendringer og deres årsaker svært viktige å forstå for å vurdere dagens globale oppvarming. Historiske klimavariasjoner diskuteres i Del VII etter at vi har diskutert mulige årsaker til klimaendringer i Del VI.

Siden klimavariasjoner opp gjennom historien vil danne et bakteppe for mye av stoffet før Del VII, gir vi en kort innføring i klimavariasjoner, begrenset til tiden siden siste *istid* (glasial) og uten grundig diskusjon av årsakene til endringene. Først vil vi diskutere klimaendringer over England basert på målinger siden 1659. Disse målingene gir oss karakteristiske trekk ved naturlige klimaendringer i våre områder de siste hundreårene. Så vil vi se på globale klimaendringer siden siste istid, blant annet for å gi en størrelsesorden på observerte klimaendringer. Til sist i kapitlet går vi inn på globale klimaendringer siste hundre år der menneskers aktivitet har påvirket klimaet.

Klimavariasjoner millionvis av år tilbake tar vi opp senere, spesielt i Del VII om historiske klimavariasjoner.

Temperaturmålinger fra England

Dataene om Central England Temperature (CET)¹ gjør det mulig å gi sikker informasjon om hvor mye temperaturklimaet har variert og endret seg over England. Dataene har større usikkerhet den første tiden, men etter 1772 regnes dataene som ganske sikre eller homogene som klimatologer gjerne sier. En homogen serie er enten målinger på samme stedet over lang tid eller en serie som er nøye korrigert for flytting av stasjoner over små avstander. Det hadde vært en stor fordel om endringene i de lange dataseriene bare kunne betraktes som naturlige variasjoner upåvirket av antropogene effekter. Dette trenger ikke være tilfelle, for antropogene effekter har i det minste vært virksomme siden cirka 1850, både ved en økende drivhuseffekt og ved effekter som skyldes endret bruk av landskapet. En mer sannsynlig tolkning av lange serier er derfor at de illustrerer en blanding av naturlig klimavariasjon og klimaendringer på grunn av menneskers aktivitet, hvor den siste effekten øker over tid.

Det mest karakteristiske ved klimavariasjonene for England vist i Fig. 1 er store variasjoner fra år til år og fra dekadene til dekadene. Dette har karakterisert klimaet på våre bredder siden utgangen av istiden og henger sammen med kaotiske og uforutsigbare variasjoner i været på våre bredder (*kaos; forutsigbarhet*), noe vi kommer tilbake til. Vi vil videre framheve tre forhold en kan lese fra figuren om variasjoner i årlig middeltemperatur. For det første har det vært en trend mot varmere klima fra 1600-tallet. En lineær trend - en rett linje - tilpasset gjennom tidsserien indikerer en oppvarming på 0,8 °C over tre hundre år og omtrent 0,6 °C gjennom de siste hundre år. For det andre har oppvarmingen vært større om vinteren (1,1 °C) enn om sommeren (0,2 °C). For det tredje var dekadene fra 1990 til 1999 den varmeste i hele serien (siste tiår ikke med). Fire av de fem varmeste årene i hele serien siden 1659

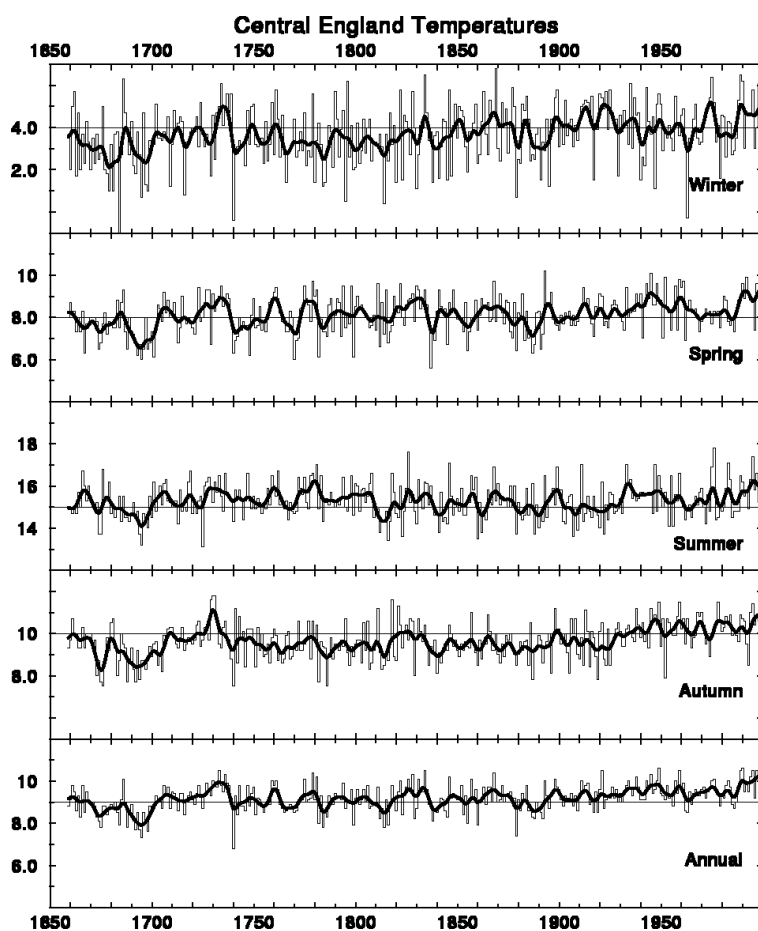


Fig. 1: Temperatur, målt med termometer fra 1659, representativ for sentrale områder av England. Figuren viser gjennomsnitt for hvert år, for hver årstid: vår (mars, april, mai), sommer (juni, juli, august), høst (september, oktober, november) og vinter (desember, januar, februar). Svarte kurver er utjevning som får fram variasjoner på tiårsskala og oppover. Enheten på y-aksen er °C. (Phil Jones), <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/ukweather/>

tilhører denne korte perioden. Vi merker oss også at den kaldeste perioden faller sammen med Maunder minimum fra 1675 – 1715, en periode da *solstrålingen* var litt svakere enn i våre dager. Dette vet en fra observasjoner av *solflekker*, som gir gode indikasjoner om intensiteten i solstrålingen.

Fra 1772 har dataserien daglige data som gjør det mulig å studere ekstremene. En har for eksempel sett på antall varme og kalde dager. Det har vært en markert reduksjon i antall kalde dager om vinteren. Antall dager med middeltemperatur under 0 °C er falt fra mellom 15 til 20 slike dager i året til rundt 10 dager i det siste hundreåret. Tilsvarende har det vært en økning i dager med middeltemperaturer over 20 °C. Gjennom 1990-årene var det i middel 7,5 slike dager, dobbelt så mange som midlet over hele perioden. Rekorden i hele rekka var i det varme året 1995 med i alt 26 slike dager.

Tilsvarende data for nedbør over England og Wales går tilbake til 1766. En finner ikke tilsvarende endringer på hundreårsskala for nedbørssummer over året. En finner imidlertid systematiske endringer for hvordan nedbøren fordeler seg over året. Vintrene er blitt våtere, mens somrene er blitt tørrere. Dette finner en overalt i Storbritannia. Over de siste dekadene har det i tillegg vært en økning av hendelser med store nedbørsmengder. Samtidig har det vært en motsatt trend om sommeren mot mindre intensitet i nedbøren, men det er fortsatt store variasjoner fra år til år. Om vår og høst finner en ikke lignende trender.

Proksidata

Det fins en rekke ulike metoder til å bestemme temperaturen indirekte. Slike data kaller vi *proksidata*. I den mest vanlige metoden bestemmes temperaturen gjennom vekstsesongen fra *treringer*. Når målingene brukes til å angi årlig middeltemperatur, blir unøyaktigheten større. Som regel blir dataene fra de siste 100-150 år sammenlignet med direkte temperaturmålinger for å kalibrere metoden. Det er feilkilder knyttet til proksidata, for eksempel er det et problem at veksten av trær i noen grad kan tilpasse seg klimaendringer. I den siste tiden har veksten av trær blitt forsterket pga. økt CO₂ i luften (karbondioksidgjødsling) og andre gjødslingseffekter fra luftforurensninger. En fordel med bruk av treringer som proksidata for temperatur er en nøyaktig tidfesting. Fra Norge gir en undersøkelse fra Femundsmarka temperaturer gjennom vekstsesongen siden år 1500³.

Visse *isotoper* eller forhold mellom isotoper funnet i luftbobler i borekjerner fra isbreer varierer i takt med temperaturen i luften da snøen falt. Slike data kan som regel ikke brukes fra norske *isbreer*, hovedsakelig pga. smelting av snø ved overflaten om sommeren. I våre områder har vi bare pålitelige data fra Grønland i cirka 3000 m høyde⁴. Men det kan være usikkert i hvilken grad resultatene er representative for temperaturvariasjonene ved havoverflata. Det er publisert mange klimaresultater fra borekjerner, det meste fra *innlandsis* over Antarktis og Grønland⁵.

Temperaturvariasjoner i havoverflaten kan estimeres ved å studere sediment på havbunnen av *kiselalger* som en gang levde ved havets overflate. Tidsoppløsningen på slike data er i beste fall ned til 10 år og tidsangivelsen er gjerne pluss/minus 30 år. De geologiske instituttene ved universitetene i Bergen og Tromsø har lenge utført slike studier fra De nordiske hav. Virksomheten har til nå vært konsentrert om tidsepoker langt tilbake, men i de senere årene er det skaffet data for blant annet fra Vøringsplata utenfor Nordland og fra fjorder i Troms som også omfatter siste tusen år^{6 7}.

I mange land er det gjort forsøk på å estimere klimaendringer ut fra ulike historiske data: skriftlige kilder om vær, jordbruksproduksjon, is på havet og i elver, etc. På Island og i England har det blitt gjort mye slik historisk klimaforskning^{8 9}. Spesielt er isforholdene på kysten av Island godt kjent fra historiske annaler fra landnåmstiden. I England har Hubert H. Lamb vært en pioner i historisk klimaforskning og gitt ut flere bøker¹⁰.

Det fins også flere andre metoder vi ikke har nevnt. En av dem går ut på å vurdere klimaet ut fra breenes variasjoner. Norske klimatologer er kjent for slik forskning. Noen ganger kan dette være en god metode, men for kortperiodiske variasjoner kan metoden også være problematisk. F. eks. vokste de største kystnære breene i Norge de siste dekadene fram mot år 2000 pga. mildere klima om vinteren. Tilveksten var større om vinteren enn smeltingen om sommeren. Ny forskning i Norge bestemmer lufttemperaturen gjennom vekstsesongen fra sedimentprøver i innsjøer¹¹. Vi vil diskutere metoder for proksidata mer grundig senere.

Klimavariasjoner siden istiden

Data fra mange steder rundt om i verden viser et viktig poeng: at det store klimavariasjonene er globale i utstrekning. Fra tilgjengelige målinger har forskere dannet gjennomsnittlig

overflatetemperatur. Endringer i denne temperaturen er som en tommelregel halvparten så store som endringene ved polene. Videre er temperaturendringer ved ekvator typisk en tredel så store som polare endringer. For klimaendringer gjennom istidene er analyser av borekjerner fra Antarktis spesielt viktige. Fig. 2 viser resultater fra slike data gjennom de siste 650 000 år (siden siste istid er også data fra Grønland med).

Proksidataene viser langperiodiske svingninger mellom istider og mellomistider (*interglacial*) som i store trekk kan forklares ved langsomme endringer i solstrålingen som skyldes kjente, langsomme endringer i jordas gang rundt sola (orbitale pådriv, se Milakovitchs teori, se Del VI, kap. 1). En regner det for sikkert at det har vært fire istider i denne perioden og en merker seg at mellomistidene har vært kortere enn istidene. Typisk

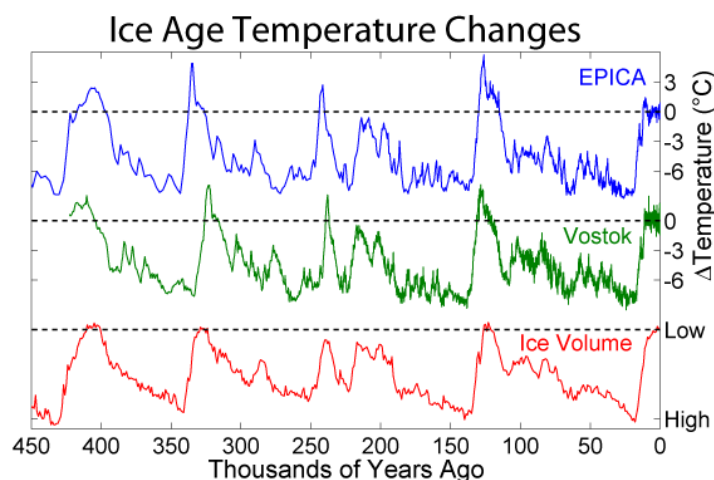


Fig. 2: Temperatur, som avvik fra dagens temperatur, gjennom istider og mellomistider slik den er estimert fra to ulike iskjerner i Antarktis. Nåtid til høyre. Nederste kurve viser endringer i volumet av is. (Robert. A. Rohde), http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Ice_Age_Temperature_Rev_png

forskjell i global overflatetemperatur mellom istider og mellomistider er 4-5 °C. Fig. 3 viser et anslag over langperiodiske endringer for global temperatur siden siste istid basert på ulike proksidata. Det er verdt å merke at det kan være betydelige feil i disse anslagene og at kurven er jevnet ut i tid, slik at variasjoner over kortere perioder er borte. Likevel, de viktigste langperiodiske variasjonene er reelle.

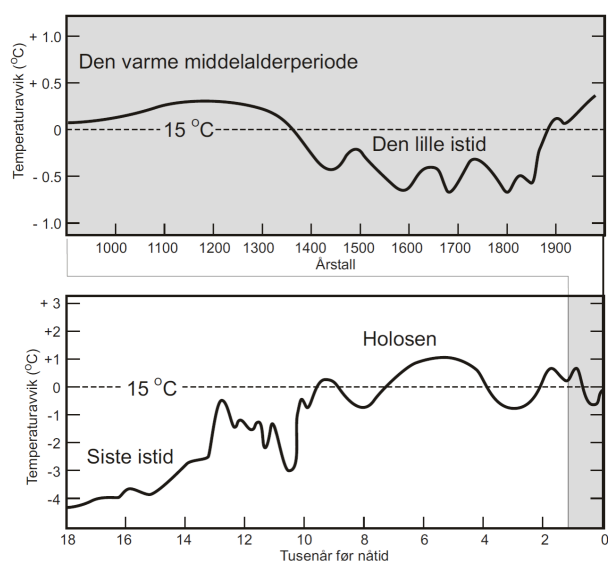


Fig. 3: Temperaturvariasjoner for nordlige halvkule siden siste istid. Variasjonene er sterkt utjevnet i tid. Det viktigste med figuren er å få fram de mest kjente variasjonene og illustrere omtrentlig hvor store utslagene har vært. Først laget av UCAR/OIES. (Frank Cleveland, Geofysisk institutt)

Den siste istiden hadde en maksimal utbredelse for cirka 20 000 år siden. Da eksisterte det flere innlandsiser i polare områder enn i dag og store isbreer i fjellområder helt ned til tropene. Utgangen av siste istid og overgangen til dagens mellomistid, perioden vi kaller *holosen*, tok flere tusen år. I den perioden smeltet innlandsisen ved polene så mye at havet steg 120 meter⁵. Overgangen fra istid til holosen var ikke jevn, men var noen ganger karakterisert med store klimavariasjoner over kort tid. Klimaet var på den måten mer ustabil enn det er i dag. Spesielt ustabil var klimaet ved utgangen av istiden i den perioden vi kaller *yngrer dryas*. For cirka 11 000 år siden stabiliserte klimaet seg og siden den gang - i holosen - har alle klimavariasjoner vært relativt små. De siste restene av innlandsis utenom dem vi har i dag, smeltet i første del av holosen og havets nivå steg tilsvarende. Siste 6-7000 år har vår kultur nytt godt av et stabilt havnivå (ser bort fra landheving der det tidligere var innlandsis; *postglasial overflatetilpasning*).

Det første vi merker oss er at den globale temperaturen har vært knapt 15 °C gjennom holosen og cirka 5 °C kaldere i istiden. Vi merker oss også en periode fra 4000 til 7000 år siden, ofte kalt optimum holosen eller *midtholosen*, da global temperatur kanskje var så mye som 1,0 °C høyere enn gjennom siste hundre år. Dette var en tid da skoggrensene vokste oppover fjellsidene og nordover. I Norge ble lauvskog som eik vanligere. Gjennom siste tusen år har vi hatt to markante klimaendringer: en varm periode i høymiddelalderen (*den varme middelalderperioden*) og en kald periode i noen hundre år fram til begynnelsen av forrige hundreår. Denne perioden kalles den lille istid. I tillegg til disse variasjonene har vi hatt variasjoner over kortere perioder som ikke uttrykkes i Fig. 2.

Siste 6-7000 år av holosen har vært menneskets tidsalder med gunstig klima for menneskelig aktivitet. Variasjonene har for det meste vært under en grad i global temperatur. I midtholosen var det løvskog (eikeblanding) i største delen av Norge og skoggrensene var markert høyere enn i dag¹². Trolig var deler av Hardangervidda dekket av skog, og det var barskog over Finnmarksvidda.

Global overflatetemperatur har økt siden den lille istid. Gjennom siste hundre år steg global temperatur fram til et maksimum omkring 1940 (Fig. 4). Utslaget på denne oppvarmingen var markant større i Arktis enn i andre deler av kloden. Global temperatur avtok deretter litt fram mot 1970. Siden den antropogene drivhuseffekten økte i denne tiden har det vært vanskelig å forklare denne avkjølingen. De siste 30 år har global temperatur økt markant med et gjennomsnitt på nesten $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ per dekad⁵. Dette er en svært rask økning som med stor sannsynlighet for det meste skyldes økt antropogen drivhuseffekt⁵.

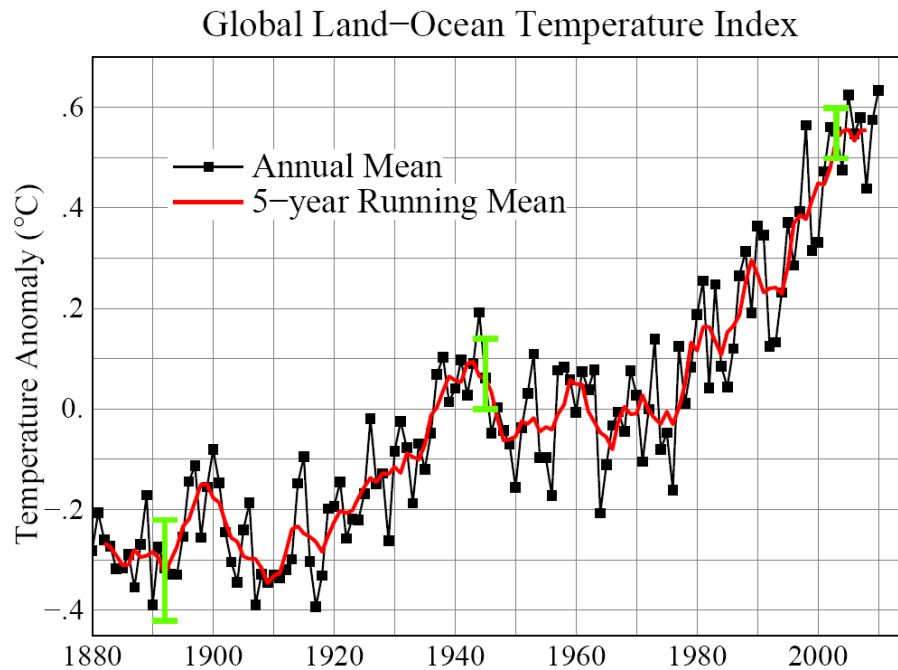


Fig. 4: Avvik i global overflatetemperatur fra en referanseperiode 1951-1980, estimert fra målinger for hvert år siden 1880. Rød kurve viser en utjevnet temperatur som gjennomsnitt over fortløpende fem år (glidende midler). De vertikale grønne stavene angir usikkerhet. Fra NASA's Goddard Institute for Space Studies.

¹ <http://badc.nerc.ac.uk/data/cet/>

² Jones, P.D. and Conway, D. 1997. Precipitation in the British Isles: an analysis of area-average data updated to 1995, *Int. J. of Climatology*, 1997, vol. 17, pp. 427-438. Dataene fins på http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/CR_data/Monthly/HadEWP_act.txt.

³ Kalela-Brundin, M. 1999. Climatic information from tree-rings of *Pinus sylvestris* L. and a reconstruction of summer temperatures back to AD 1500 in Femundsmarka, Eastern Norway, using partial least squares regression (PLS). *The Holocene*, 9, 59-77.

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core.

⁵ Climate Change 2007. *The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>

⁶ Kristensen, D.K., Koc, N., Rasmussen T., Slubowska-Woldengen M. 2007. Changes in ocean circulation in the Arctic during the current interglacial. *Cicerone* 01/2007.

⁷ Hald, M., Ebbesen, H. 2004. Ustabilt klima ved slutten av siste istid. *Cicerone* 05/2004.

⁸ Ogilvie, A.E.J., 1991. Climate changes in Iceland AD c. 865 to 1598. In Bigelow, G.F.: The Norse of the North Atlantic, *Acta Archaeologica* 61, Munskgaard, Copenhagen, 233-251.

⁹ Ogilvie, A.E.J., 1992. Documentary evidence for changes in the climate of Iceland AD 1500 to 1800. In Bradley, R.S. and Jones, R.D, editors, *Climate since AD 1500*, London Routledge, 92-117.

¹⁰ Lamb, Hubert H. 1977. *Climatic History and the Future*. Princeton, Princeton University Press.

¹¹ Bjune, A., et al. 2003. Mer pålitelige rekonstruksjoner av fortidens klima. *Cicerone* 04/2003.

¹² Magnus B. og Myhre B. 1976: *Norges Historie*, bind 1, K. Mykland (red). Forhistorien fra jegergrupper til høvdingesamfunn. Cappelen.

I.4 - KLIMAFORSKNING – HISTORISK TILBAKEBLIKK

På slutten av 1800-tallet og gjennom første halvdel av 1900-tallet ble det opprettet værstasjoner nesten overalt i verden. I internasjonal skipsfart har en lenge hatt forordninger om å skrive skipslogger som blant annet inkluderte observasjoner av sjøtemperaturen. Både observasjonene på land og over hav ble først og fremst brukt i værvarsling, men samtidig ble dataene samlet, bearbeidet og lagret av nasjonale meteorologiske institutt. Slik fikk disse institusjonene sine klimaavdelinger. Til å begynne med var formålet til disse avdelingene å beskrive sitt lands klima, og det var lite fokus på klimaendringer. De fleste meteorologer antok at klimaet var noenlunde konstant med tilfeldige endringer fra år til år og fra dekadene til dekadene. Normalene som ble beregnet, uttrykte det viktigste. Etter hvert som datarekkene ble lengre, ble interessen for klimaendringer imidlertid større. Siden nasjonale institutt stort sett bare hadde tilgang til sine egne data, var de første undersøkelsene lokale eller regionale.

Den første oppvarmingen forrige hundreår

Fra vårt land kan vi nevne arbeidet av B.J. Birkeland ved Meteorologisk institutt som skrev om klimaendringer på Svalbard og økende temperatur på begynnelsen av 1900-tallet¹. Noenlunde samtidig fant en lignende tegn på at klimaet ble varmere andre steder på jorda, men med størst utslag i Arktis. Slik fant en at temperaturen over Canada og nordlige deler av USA var blitt mer enn 1-2 °C varmere siden 1860. Eksperter trodde endringene var en del av klimasvingninger over flere hundre år. Det fantes ingen gode forklaringer på hva som hadde skjedd, men teorien om endringer i solflekker var mest populær (se Del VI, kap 2).

Den som først beregnet global gjennomsnittstemperatur for overflaten var en engelsk ingeniør, Guy Stewart Callendar², som studerte klimaet som en ivrig amatør. Etter mye sortering av data og mange beregninger kom han fram til at klimaet virkelig hadde blitt 0,5 °C varmere globalt mellom 1890 og 1935³. Callendar kjente til teorier om at økt drivhuseffekt, på grunn av menneskers brenning av kull og olje, kunne endre klimaet og foreslo økt drivhuseffekt som årsak til endringen. Det var få som trodde Callendar. Senere har en beregnet global overflatetemperatur for denne perioden på nytt med bedre datagrunnlag og kommet fram til omtrent det samme resultatet. For eksempel fant Helmut Landsberg ved US Weather Bureau at den globale oppvarmingen var statistisk signifikant, med størst utslag i Arktis⁴. Han foreslo at årsaken enten måtte være økt drivhuseffekt eller økt solstråling. Samtidig ble det rapportert om mindre is i Arktis, noe som var forutsagt i enkle modeller for effekten av økt drivhuseffekt.



Guy Stewart Callendar (1898-1964). Påviste global oppvarming i første del av forrige hundreår og knyttet oppvarmingen til utslipp av klimagasser.

http://en.wikipedia.org/wiki/Guy_Stewart_Callendar

<http://www.aip.org/history/climate/xGSCalendar.htm>

På 1940-tallet var det flere som studerte oppvarmingen, en av dem var svensken Hans Ahlmann. På begynnelsen av 1950-tallet rapporterte han at temperaturen hadde sunket igjen siden 1940⁵. Med denne avkjølingen mistet teorien om økt drivhuseffekt sitt feste. ”Vår holdning til klimanormaler må endres”, skrev Hubert H. Lamb i 1959 som uttrykk for at klimaendringer måtte studeres mer alvorlig⁶. I 1961 viste også J. Murray Mitchell ved US Weather Bureau at klimaet hadde blitt kaldere siden cirka 1940⁷. Hans beregninger var basert på data som dekket det meste av kloden. Temperaturen hadde altså steget fram til 1940, men så falt den igjen. Dataene hans viste så mye tilfeldig variasjon fra år til år og fra region til region at avkjølingen først var statistisk sikker med data fram til 1960. Mitchell godtok at økt drivhuseffekt kunne være årsaken til oppvarmingen og antydte at avkjølingen kunne skyldes partikler i atmosfæren (*aerosoler*) fra vulkanutbrudd eller endringer i antall solflekker. Han innså likevel at slike teorier var for svakt fundert til å uttale seg med sikkerhet. En journalist, Walter Sullivan, som hadde spesialisert seg på å formidle vitenskapelige resultater, rapporterte i *New York Times* om Mitchells resultater, om trenden mot avkjøling og at forskerne ikke var enige om årsakene til endringene⁸.

Gjennom 1960- og 1970-årene holdt temperaturen seg lav. Vest-Europa fikk noen av sine kaldeste vintre. Fra Hawaii fantes det nå kontinuerlige målinger av konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren⁹. Målingene startet i 1958 og viste en økende trend der konsentrasjonen økte for hvert år. Økningen måtte gi en økt drivhuseffekt i atmosfæren, men det ble ikke observert noen tilsvarende økning i temperaturen. Forskere fant at økningen i konsentrasjonen av CO₂ skyldtest menneskers utslipp gjennom forbrenning av fossilt brensel, men forsto ikke hvorfor temperaturen ikke også økte som følge av økt drivhuseffekt¹⁰.

På denne tiden ble en klar over at storbyer og områder med mye industri påvirker klimaet slik at disse områdene blir varmere enn omgivelsene og slik står fram som varmeøyer i landskapet (*urban varmeøy*). En av grunnene til slike varmeøyer over byer er mindre vegetasjon og mindre fordamping enn i omgivelsene. Det ble hevdet at effekten av slike varmeøyer kunne forklare oppvarmingen fram til 1940¹¹. Effekten av varmeøyer ble tilbakevist av dem som beregnet trendene, de sterkeste signalene var jo funnet i arktiske strøk der en ikke finner slike varmeøyer. Forskerne var i villrede. Når ikke klimaet ble varmere på grunn av økt drivhuseffekt, ble klimasystemet da avkjølt på grunn av utslipp av gasser som svoveldioksid (SO₂), som fører til aerosoler i lufta?

Ny istid eller global oppvarming?

Den japanske værtjenesten sendte ut et spørreskjema til verdens nasjonale værtjenester om deres syn på temperaturtrender og mulige årsaker til endringer¹². I de fleste land ble det svart at det ikke fantes noen klare trender. Noen mente at verden var inne i en kald periode som trolig ville vare ved i mange år. Den vanligste forklaringen var at antall solflekker nå var lavere enn på 1950-tallet.

Enkelte pekte på at endringene i jordbanen tilsa at vi var på vei mot en ny istid. Slike tanker ble tatt alvorlig og presentert i media overalt. Også noen norske forskere støttet dette synet. I 1972 skrev Murray Mitchell at endringer i solbanen ikke kunne forklare det kalde været fordi effekten av menneskers utslipp av CO₂ var så mye større¹³. Han hadde ingen forklaring på den kalde perioden, men mente at økt drivhuseffekt med tiden tvert om ville forlenge den

mellomistiden vi er inne i. Et panel av eksperter i det amerikanske vitenskapsakademiet sa seg enig i en rapport fra 1975¹⁴. Panelet mente at på tross av en kald periode, ville økt drivhuseffekt kunne gi en halv grads oppvarming ved århundrets avslutning. Innen den tid ville denne effekten dominere over andre mer tilfeldige svingninger. Den kjente vitenskapsmannen Wallace Broecker¹⁵ gikk lengre og spurte: ”Er vi på vei mot en global oppvarming?”

Som ventelig var likevel meningene delte når det gjaldt synet på global oppvarming. I 1977 fikk forsvarsdepartementet i USA svar fra 24 toppforskere i verden på spørsmål om global oppvarming fram til slutten av århundret¹⁶. Hovedkonklusjonen var at en manglet sikker kunnskap, slik var alle forsøk på å forutsi klimaendringer usikre. Forskere delte seg i tre grupper når det gjaldt deres tro på hva som skulle skje: Noen mente at en fortsatt avkjøling var mest sannsynlig, andre mente at en moderat global oppvarming på grunn av økt drivhuseffekt snart ville starte, mens de fleste mente at klimaet ville holde seg omtrent uendret de første dekadene. Bare noen få trodde på en betydelig oppvarming ved slutten av hundreåret, slik det faktisk ble.

Vitenskapsakademiet i USA utredet i 1979 antropogen global oppvarming etter en forespørsel fra president Jimmy Carter¹⁷. Arbeidet ble ledet av den kjente meteorologen Jule Charney, som hadde mye kontakt med professor Arnt Eliassen i Oslo. Rapporten gav det første moderne estimat for hvor sensitiv klimasystemet er for en dobling av konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren (*klimasensitivitet*). Denne rapporten var den første jeg leste om teorien om global oppvarming. Men allerede i 1976 hadde jeg hørt foredrag om dette fra amerikanske forskere.

Global oppvarming ble et viktig forskningstema. Spesielt ble det viktig å overvåke klimaendringer med bedre orden på innsamling og kontroll av data globalt, med kontrollerte beregninger av globale og regionale middeltemperaturer. Ved 1980 var det opprettet to uavhengige grupper i verden for dette formål: En gruppe i New York, finansiert av NASA, ledet av James Hansen¹⁸, og en gruppe finansiert av den britiske stat, kalt Climate Research Unit, knyttet til universitetet i East Anglia, England¹⁹. Denne gruppen ble ledet av Phil Jones og Tom Wigley. Begge gruppene har siden den tid gitt ut årlige temperaturoversikter, spesielt for global temperatur. Begge gruppene fant at kloden nå begynte å bli varmere. Avkjølingen som startet i 1940 snudde tidlig på 1970-tallet, 1981 var lenge det



James Hansen, København 2009, forsker ved NASA Goddard Institute for Space Studies. En av verdens ledende forskere på global oppvarming. En av de første som beregnet global oppvarming i klimamodeller.

http://en.wikipedia.org/wiki/James_Hansen

varmeste året i hele hundreåret. Videre fant de ut at avkjølingen mellom 1940 og 1970 først og fremst var knyttet til nordlige halvkule. Begge gruppene, som brukte noe forskjellige metoder i sitt arbeid, forsøkte seg med prediksjoner fram til år 2000 og kom fram til en oppvarming på minst 0,5 °C innen den tid.

Global oppvarming

De fleste eksperter fant likevel ikke klare bevis for global oppvarming, det fantes jo bare målinger fra mindre enn et århundre, og disse målingene viste store variasjoner over flere dekader. Ville den siste oppvarmingen over bare noen få år ha lignende karakter som oppvarmingen fram til 1940? Mange mente en måtte vente til slutten av hundreåret for å avgjøre om en oppvarming var forårsaket av økt antropogen drivhuseffekt.

Det kom til en tredje gruppe som analyserte bakkedata, National Climate Data Center, Ashville, North Carolina, USA. Denne institusjonen hadde verdens største samling av klimadata. Fra 1988 var det slik tre grupper som ga ut årlig statistikk. Dette året var det varmeste inntil da gjennom siste 100 år. Tidlig på 1990-tallet gikk temperaturene litt ned på grunn av utbrudd fra vulkanen Pinatubo i 1991²⁰. Utbruddet førte store mengder aerosoler opp i atmosfæren som reflekterte noe av solstrålingen og slik avkjølte atmosfæren. Men etter at aerosolene var vasket ut etter noen få år, begynte den globale temperaturen igjen å stige. 1995 ga igjen ny rekord som ble toppet i 1997. Året 1998 ble spesielt varmt og stakk seg ut fra de andre årene. Årene som fulgte ble også varme og 2005 ble like varm som 1998. Oppvarmingen fra cirka 1970 har vært 0,5 – 0,6 °C slik som noen forutså²¹.

Oppvarming for jordoverflaten har på mange måter blitt bekreftet av andre indikatorer enn global temperatur: vekstsesonen på våre bredder er blitt lengre, satellittmålinger viser mindre is i Arktis og de fleste isbreer smelter og blir mindre. De øvre lagene av havet, hvor det meste av varmen som klimasystemet mottar blir lagret, er blitt varmere de siste dekadene²². 1990-årene var uten sammenligning den varmeste dekadene i forrige hundreår og kanskje også i de siste tusen år^{21 23}. Tiåret 2000-2009 var enda varmere, og økningen fra 1990-årene var vel så stor som fra 1980-årene til 1990-årene²⁴.

Folk har tatt det for gitt at økt drivhuseffekt har vært årsaken til den globale oppvarmingen, men kritikere har pekt på at den kan også ha andre årsaker. Spesielt har mange pekt på at samtidig som at konsentrasjonen av drivhusgasser har økt siden cirka år 1800, har antall solflekker økt, noe som vi skal se gir en varmende effekt på klimasystemet (Fig. 1). Sterke kort for at økt drivhuseffekt er årsaken ligger i at oppvarmingen er større om natten enn om dagen og at effekten forsterkes i arktiske strøk. Dette er i samsvar med hva ledende fysikere som John Tyndall og Svante Arrhenius forutså allerede tidlig i forrige hundreår. Folk i Sibir og i Alaska trenger ikke klimastatistikk for å vite at klimaet er blitt mildere. Teorien om endringer i solflekker er blitt sterkt svekket når det gjelder å forklare oppvarmingen de siste 30 år. Det viser seg at antall solflekker ikke har endret seg mye siden 1950-årene. Slik fins det ikke samsvar mellom endringer i solflekker og endringer i temperatur i denne perioden^{25 26}.

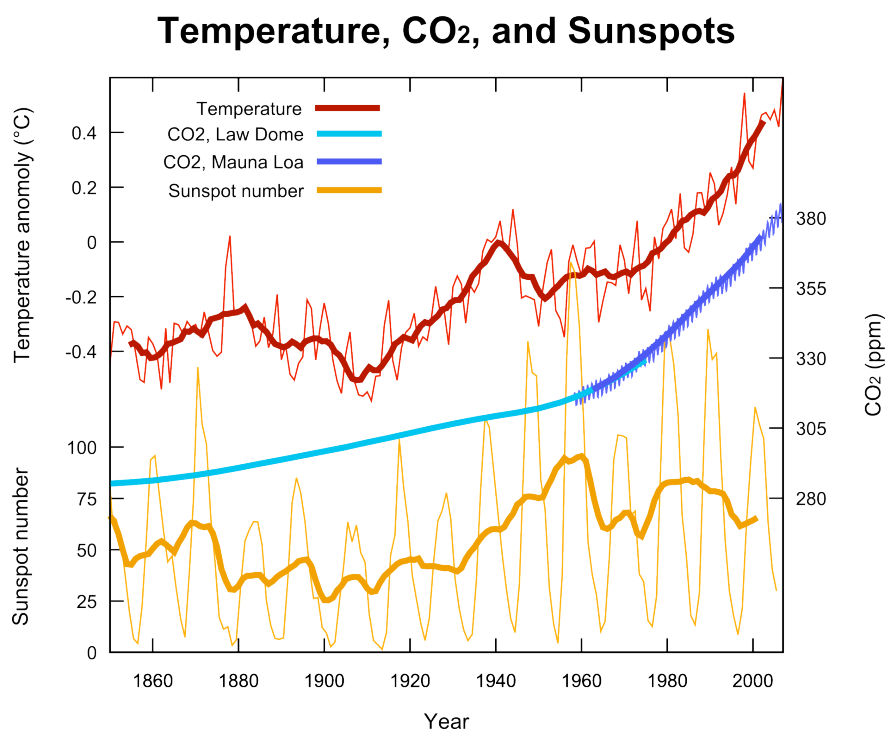


Fig. 1: Global temperatur for hvert år siden 1850, for hvert år og utjevnet i tid (rødt). Økning i konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren gjennom samme periode (blåfarger; ppm part per million, milliondeler), direkte målinger siden 1958 fra Mauna Loa, Hawaii (mørkeblå), fram til 1958: data fra iskjerne fra Law Dome, Antarktis (lyseblå). Gule kurver viser antall solflekker gjennom solsykler på cirka 11 år og med en utjevning i tid som tar bort variasjoner over en sykel.

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Temp-sunspot-co2.svg>

IPCCs rapporter fra 2007 står fast at det er svært sannsynlig at oppvarmingen de siste 50 år skyldes menneskers påvirkning på klimaet gjennom økt drivhuseffekt. En mengde forskningsresultater ligger til grunn for deres uttalelser. En liten gruppe forskere stiller seg fremdeles tvilende, kanskje endringer i solstrålingen virker på en slik måte at effekten forsterkes? Kanskje endringene mer skyldes endringer i menneskers bruk av jordoverflaten fordi befolkningen øker? Kanskje oppvarmingen skyldes endringer i *kosmisk stråling* fra verdensrommet? Fremdeles er det også flere som sverger til at målingene er for mye påvirket av urbane varmeøyer. Lenge viste satellittmålinger av temperatur i den frie atmosfære, det laget vi kaller *troposfæren* og som når 10 – 15 km over havet, mindre oppvarming enn det bakkeobservasjoner viser for jordoverflaten. Denne uoverensstemmelsen stemte ikke med teoretiske beregninger. Sceptikere har tatt disse målingene som bevis på at det må være noe galt med målingene ved overflaten. Nå har en imidlertid funnet feil ved kalibreringen av satellittmålingene. Med nye korreksjoner er det små forskjeller mellom temperaturøkningen i troposfæren og ved jordoverflaten^{27 21}.

- 1 Birkeland, B.J. 1930. Temperatur Variationen auf Spitzbergen. *Meteorologische Zeitschrift*, Juni 1930, 234-236.
- 2 http://en.wikipedia.org/wiki/Guy_Stewart_Callendar
- 3 G.S. Callendar Archive, University of East Anglia.
- 4 http://en.wikipedia.org/wiki/Helmut_Landsberg
- 5 Ahlmann, H.W. 1948. The present climate fluctuation. *The Geographical Journal*, 112, 165-193.
- 6 Lamb, Hubert H. 1959. Our Changing Climate, Past and Present (Address to BAAS). *Weather*, Oct., 299-318 (reprinted in Lamb, Changing Climate, pp. 1-20).
- 7 Mitchell, J. Murray 1961. Recent secular changes of global temperature. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 95 (1), 235–250.
- 8 Sullivan, W. 1983. Earth said to be in "Icehouse". *New York Times*, September 20.
- 9 Keeling, C.D., R.B. Bacastow, A.E. Bainbridge, C.A. Ekdahl, Jr., P.R. Guenther, L.S. Waterman, and J.F.S. Chin. 1976. Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Tellus* 28(6), 538-51.
- 10 Landsberg, Helmut E. 1970. Man-Made Climatic Changes. *Science* 170, 1265-74.
- 11 http://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island
- 12 Lamb, Hubert H. 1977. *Climatic History and the Future*. Princeton University Press. Se side 709-710.
- 13 Mitchell, J. Murray, Jr. 1972. The Natural Breakdown of the Present Interglacial and Its Possible Intervention by Human Activities. *Quaternary Research* 2: 436-45.
- 14 GARP (National Academy of Sciences, United States Committee for the Global Atmospheric Research Program) 1975. Understanding Climatic Change: A Program for Action. Washington, DC; Detroit, MI: National Academy of Sciences; Grand River Books.
- 15 Broecker, W.S. 1975, reported in *New York Times*, Aug. 14, 1975, p. 24. Influence of Broecker on a member of the President's Council of Economic Advisers is reported in *New York Times*, June 3, 1977, IV p. 13.
- 16 National Defense University, USA, 1978. "Climate Change to the Year 2000: A Survey of Expert Opinion". Washington, DC, National Defense University.
- 17 National Research Council 1979. Carbon dioxide and climate: A scientific assessment. http://www.atmos.ucla.edu/~brianpm/download/charney_report.pdf
- 18 <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- 19 <http://www.cru.uea.ac.uk/>
- 20 Robock, A. 2002. Pinatubo eruption: The Climatic Aftermath. *Science*, 295, 1242 – 1244.
- 21 Climate Change 2007. *The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>.
- 22 Levitus, S. et al. 2000. Warming of the World Ocean. *Science*, 287, 2225 – 2229.
- 23 US National Research Council (NRC) 2006. Surface temperature reconstructions for the last 2000 years. National Academy Press, Washington.
- 24 Hansen, J., R. Ruedy, Mki. Sato, and K. Lo, 2010. Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345

²⁵ Benestad, R.E. 2002. *Solar Activity and Earth's Climate*. Praxis-Springer, Berlin and Heidelberg, 287 pp.

²⁶ Foukal, P., C. Fröhlich, H. Spruit and T. M. L. Wigley 2006. Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate. *Nature* 443, 161-166.

²⁷ US Climate Change Science Program 2006. Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences. www.climatechange.gov

