

Klimaforandringer

I december 2009 afholdes FN's klimakonference (COP15) i København. Klimaforandringernes betydning for sundhed og sygdom er genstand for betydelig offentlig interesse, det er derfor naturligt, at også Ugeskrift for Læger fokuserer på emnet.

Temanummeret indeholder en række artikler om sundhed og sygdom i relation til klimaforandringerne. Artiklerne omhandler emner som ændringer i infektionsmønsteret, luft- og vandkvalitet samt sårbare befolkningsgrupper og deres påvirkning af klimaforandringer. Desuden

bliver uddannelsesmæssige konsekvenser, livsstilsændringer og potentielt gunstige effekter af klimaforandringer behandlet.

Ugeskriftet takker forfatterne til artiklerne og håber, at indholdet af dette temanummer vil stimulere læsernes opmærksomhed på konsekvenserne af klimaforandringer.

God læselyst.

Tonny Jensen

Assisterende videnskabelig redaktør

Menneskeskabte klimaændringer

Professor Eigil Kaas

I denne artikel gives et overblik den nyeste viden om menneskeskabte klimaændringer: Hvordan passer målinger med teori og modelberegninger, og hvor store bliver klimaændringerne? Artiklen omfatter udelukkende de naturvidenskabelige aspekter af selve klimaændringerne, dvs. menneskelige og naturlige klimapåvirkninger, observerede klimaændringer, forståelsen af klimatiske processer, årsager til observerede ændringer samt ikke mindst beregninger af de fremtidige klimaændringer, som skyldes menneskelig aktivitet. Emnerne »Modvirkning af klimaændringer« og »Tilpasning til klimaændringer« behandles ikke i nærværende artikel. Lægefaglige aspekter af klimaændringer behandles altså heller ikke specifikt.

Udgangspunktet for artiklen har, ud over almindeligt artikel- og lærebogsmateriale, været den seneste vurderingsrapport fra »Arbejdsgruppe I« i *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) [1] samt nye resultater og data, der er publiceret de seneste år. Af pladshensyn er det valgt kun at lægge vægt på nogle ganske få emner, der har tiltrukket sig særlig opmærksomhed.

For en nærmere forklaring af visse begreber, der benyttes nedenfor, henvises til [2] og [3]. Sidstnævnte indeholder en række artikler vedrørende menneskeskabte klimaændringer.

OBSERVEREDE ÆNDRINGER OG ÅRSAGERNE HERTIL

Den sorte kurve i **Figur 1** viser den observerede glo-

bale gennemsnitlige temperaturudvikling i perioden fra 1900 til 2005. Der kan ses mange variationer på forskellige tidsskalaer. Den tiltagende menneskeskabte drivhuseffekt (ikke vist) har derimod haft et meget jævnt stigende, om end accelererende, forløb. Den kan dermed ikke være den eneste forklaring på kurveforløbet. Mange andre både naturlige og menneskeskabte processer giver også anledning til variationer i temperaturforløbet fra år til år og årti til årti. Et eksempel er temperaturanomalien i årene 2007 og 2008 (ikke er vist på figuren), som lå på henholdsvis 0,40 °C og 0,33 °C, altså en anelse under 2005-værdien. Disse svagt aftagende temperaturer har i pressen givet anledning til overvejelser om, at den globale opvarmningstrend var stoppet. Statistisk set er denne afbrydelse i opvarmningen dog ikke signifikant, og desuden bemærkes, at begge år tilhører de ti varmeste siden 1850. Mere fysisk betragtet kan forløbet i de seneste år i store træk forklares som en kombination af både naturlige variationer i atmosfære-ocean-cirkulationen – det såkaldte la Niña-fænomen – i troperne og i Stillehavet, samt et minimum i solens ca. 11-årige cyklus.

Som et vigtigt bidrag både til forståelsen af det sorte kurveforløb i Figur 1 og til verifikation af klimamodeller præsenteredes i [1] resultater fra modelsimuleringer af klimaet i 1900-tallet. Hver model blev i løbet af simuleringen »fodret« år for år med oplysninger om øjeblikkeligt indhold af drivhusgasser samt

STATUSARTIKEL

Københavns Universitet,
Niels Bohr Institutet

tilsvarende information om estimerede menneskeskabte udslip af partikler og naturligt varierende påvirkninger fra vulkaner og solen. Figur 1 er en af de vigtigste i [1] rapporten, og den viser, at man i store træk er i stand til at forklare det observerede temperaturforløb med de samme klimamodeller, der benyttes til simuleringer af fremtidens klimaændringer. Det bemærkes, at hvis modellerne udelukkende påvirkes fra vulkaner og sol, bliver temperaturforløbet ganske anderledes og uden den store generelle temperaturstigning.

Forsøg på at forklare den igangværende globale opvarmning via en indirekte solpåvirkningsmekanisme, som involverer kosmisk stråling, ionisering af atmosfæren og dannelse af såkaldte skykondensationskerner, har fortsat ikke kunnet påvises. Det skyldes bl.a., at der ikke har været nogen generel trend i solaktivitet eller i kosmisk stråling [5]. Det kan dog ikke udelukkes, at selve mekanismen som sådan kan virke [6], ligesom det også kan tænkes, at den har haft betydning, når man ser tilbage i jordens geologiske historie.

Med hensyn til påvirkning af klimaet har de seneste år været præget af en betydelig stigning i de årlige udslip af CO₂. Det ser også ud til, at stigningstakten i atmosfærisk koncentration af CO₂ er forøget de seneste år [7], ligesom CH₄-koncentrationen efter en



FAKTABOKS

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sammenholder og vurderer publiceret forskning samt publicerede data. IPCC bedriver ikke selvstændig forskning, men udgør en omfattende proces, hvortil mange forskere bidrager, enten i form af forfatterskab eller som *reviewere*. Arbejdet er særdeles grundigt, og konklusioner baseres på »moden« viden. Der er altså indbygget en vis konservatisme i IPCC-processen, så de allernyeste forskningsresultater ofte betragtes som præliminære, indtil de bekræftes via andre undersøgelser.

[1] er baseret på forskningsresultater, som er publiceret i internationale tidsskrifter frem til 2006. På IPCC's websider kan man ud over selve rapporten hente diverse relateret materiale. Det gælder f.eks. en *Synthesis Report og Summary for Policy Makers*. Den sidste er oversat til dansk af DMI [4].

opbremsning nu også ser ud til at stige igen. Derfor må man forvente en fortsat opvarmning af planeten i årene fremover, selv om der godt kan komme perioder, hvor naturlige processer midlertidigt »skjuler« opvarmningen [8]. I øvrigt bemærkes, at det er usikkert, hvor længe den forøgede stigning i CO₂-emission vil vare ved [9], især set i lyset af den øjeblikkelige økonomiske afmatning.

Klimamodellernes simulerede temperaturstigning i de seneste årtier i troperne i 8-15 kilometers højde har været større end den observerede stigning i samme periode. Dette har, som diskuteret i bl.a. [1], skabt usikkerhed om realismen af den grundlæggende fysik og om modellernes kvalitet. Nye analyser af målingerne, f.eks. [10], viser nu, at forskellen i høj grad kan tilskrives unøjagtige målinger og ændringer i måleteknik igennem årene.

Det vurderes, at de største observationelle »nyheder« efter [1], er, at der nu tilsyneladende sker en uventet hurtig afsmeltning fra Grønlands iskappe (f.eks. [11], og at sommerisdækket i det Arktiske Ocean er reduceret dramatisk i 2007 og næsten lige så meget i 2008. Begge disse fænomener kan være tegn på såkaldte *tipping points*, hvilket er situationer, hvor en ikke-lineær og måske irreversible processer indtræffer.

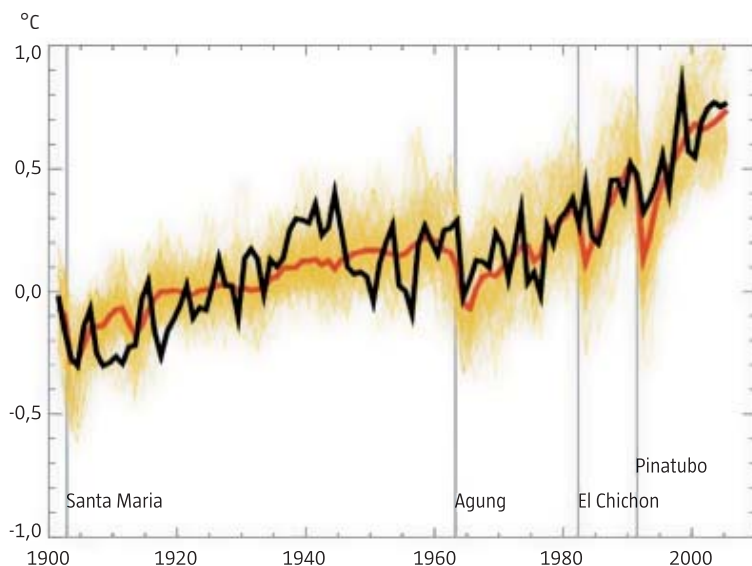
I Danmark og i landene omkring er temperaturen steget væsentligt mere end det globale gennemsnit i de seneste år. Jf. Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI's) webnyheder fra 3/5 2009 har Danmark i de seneste tre år haft en gennemsnitstemperatur på hele 1,8 °C over referenceperioden 1961-1990.

FREMIDTIGE KLIMAÆNDRINGER

Reference [1] indeholder et væld af analyser af fremtidens klimaændringer, der er simuleret ved hjælp af klimamodeller under antagelse af forskellige økonomiske, teknologiske og politiske udviklinger i verden.

FIGUR 1

Den sorte kurve viser variationer i observeret global middeltemperatur nær jordoverfladen i perioden 1900-2005. Kurven er vist som afvigelse fra gennemsnittet (ca. 15 °C) i perioden 1961-1990. De gule »spaghettigtige« kurver viser en mængde simuleringer gennemført med forskellige klimamodeller for samme periode. Den røde kurve viser gennemsnittet af alle simuleringer. Kraftige vulkanudbrud er markeret. Kilde: [1].



Figur 2 viser beregnede ændringer i temperatur ifølge *special report on emissions scenario* (SRES) A1B i årene 2080-2099 i forhold til 1980-1999. SRES A1B-scenariet har en fortsat vækst i både befolkningstal og emissioner frem til 2040-50 efterfulgt af en reduktion i begge størrelser. Der indføres løbende en blanding af nye teknologier. Figuren viser, at den største opvarmning sker om vinteren på høje nordlige breddegrader samt over kontinenterne. Tilsvarende kort (ikke vist her) viser, at nedbøren generelt aftager i områder, hvor det allerede er tørt. Både med hensyn til temperatur og nedbør synes Syd- og til dels Mellem Europa udsat for kraftig opvarmning og udtørring, specielt om sommeren. Dette er et signal, der er ganske udbredt »enighed om« blandt de forskellige modeller.

Der er kun gennemført meget få globale model-simuleringer efter offentliggørelsen af [1], så Figur 2 må fortsat betragtes som *state of the art* for det viste scenarie.

I Danmark viser DMI's regionale klimasimuleringer, som også indgår i IPCC's scenarier, at temperaturen vil stige lige så meget som – eller måske lidt mere – end det globale gennemsnit og nogenlunde lige meget sommer og vinter. Ligeledes ser det ud til, at sommernedbøren kan aftage med omkring 10-25% og vinternedbøren tiltage med 20-40%. Generelt ser det ud til, at vi får en betydelig stigning i omfanget af heдебølger om sommeren, og at nedbøren falder mere ujævnt med kraftigere nedbør, som falder mindre ofte. Mindre stigninger i stormhyppighed og -styrke kan ikke udelukkes, men dette er ganske usikkert.

Et af de områder, der har tiltrukket sig betydelig opmærksomhed efter udgivelsen af [1], er de fremtidige stigninger i havniveau. Flere studier, f.eks. [12], påpeger, at når man modsat [1] medtager afsmeltning fra alle gletsjere og iskapper på land, kan det globale havniveau stige med omkring en meter inden for de nærmeste 100 år. Resultaterne fra andre studier angiver både større og mindre stigninger end dette. De undersøgelser, forfatteren er bekendt med, peger næsten entydigt på, at estimatet i [1] ligger i den lave ende.

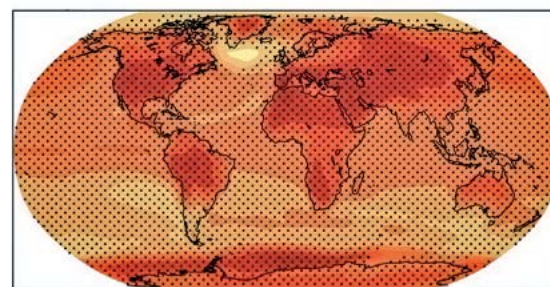
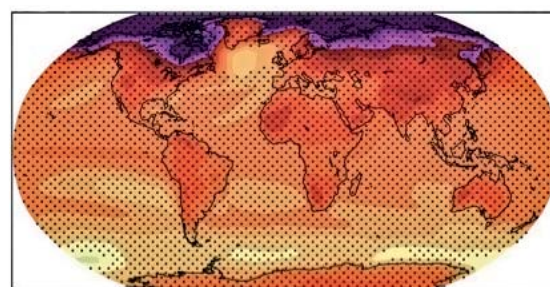
DE GRUNDLÆGGENDE PROCESSER

Klimafølsomheden, dvs. størrelsen af klimaændringerne som følge af en given strålingspåvirkning (energipåvirkning af planeten), er helt afgørende i debatten om klimaændringer. Denne følsomhed er bestemt af en række feedbackmekanismer, der kan forstærke eller dæmpe den umiddelbare klimaændring som følge af påvirkningen. Ifølge stort set alle klimamodeller, er den samlede betydning af alle former for feedback en kraftig forstærkning. Tem-



FIGUR 2

Verdenskort over simulerede temperaturændringer nær ved jordoverfladen i årene 2080-2099 i forhold til 1980-1999. Øverst vises ændringer i den nordlige halvkugles vintermåneder og nederst om sommeren. Mange forskellige klimamodeller indgår i beregningerne, der alle er gennemført for det såkaldte A1B-scenarie for udslip af drivhusgasser og -partikler. De prikede områder markerer, at modellerne er »enige« om fortegnet i ændringerne. Kilde: [1].



A1B = Et scenarie med relativt hurtig stigning i emissioner i første halvdel af det nuværende århundrede og derefter en reduktion.

peraturstigningen som følge af f.eks. tiltagende atmosfærisk indhold af CO₂ bliver således omkring 2-5 gange større, end den ville blive uden feedback. Modellerne er også »enige« om, at vanddampfeedback er den vigtigste feedback. Vanddamp er den vigtigste af alle drivhusgasser, men mængden af vanddamp i atmosfæren er styret af atmosfærens temperatur. Når en klimapåvirkning giver en vis temperaturstigning, vil den forøgede mængde vanddamp, der automatisk følger heraf, medføre at temperaturstigningen bliver endnu større. Verifikation af modellernes vanddampfeedback har derfor længe været et vigtigt forskningsfelt. I [1] opsummeredes resultater, hvor variationer i atmosfærens infrarøde udstråling fra vanddampmolekyler målt fra satellitter blev sammenholdt med tilsvarende variationer/stigninger i atmosfærens temperatur. Resultatet understøttede i høj grad modellernes tilsvarende simuleringer og hermed styrken af deres vanddampfeedback. Flere nyere undersøgelser (f.eks. [13]) understøtter disse resultater. Der er således efterhånden ved at være konsensus om dette centrale element i den videnskabelige klimadebat.

FORFATTERENS VURDERING

Det er forfatterens vurdering, at forskningsresultater, som er publiceret siden [1], i vid udstrækning bekræfter rapportens konklusioner. Menneskets rolle i de klimaændringer, der allerede har fundet sted, synes tilmed yderligere understøttet. Desuden kan fremtidens havniveau-stigninger blive større end estimeret i [1].

I den populærvidenskabelige presse bringes klimaændringernes størrelse og menneskets betydning ofte i tvivl. Det er vigtigt at pointere, at sådanne artikler kun i meget få tilfælde har været baseret på forskning, der har haft kvalitet til publicering i internationale videnskabelige tidsskrifter med *peer review*. Selv om der fortsat er en del usikkerheder, og selv om klimaet har udvist store naturlige variationer, er den grundlæggende dokumentation bag IPCC-rapporternes resultater på plads. Dette gælder på både det teoretiske, det modelleringsmæssige og det observationelle plan.

KORRESPONDANCE: Eigil Kaas, Niels Bohr Institutet, Juliane Maries Vej 30, DK-2100 København Ø. E-mail: kaas@gfy.ku.dk

ANTAGET: 27. juni 2009

INTERESSEKONFLIKTER: Ingen

LITTERATUR

1. IPCC Working Group I Assessment Report 4. 2007. www.ipcc.ch (3. maj 2009)
2. Kaas, E og Langen P. Drivhusgasser og deres betydning for klimaet, *Aktuel Naturvidenskab* 2007;4:15-19.
3. Meltøfte H (Ed.). Klimaændringerne: Menneskeheden hidtil største udfordring. København: Hovedland, 2008
4. Jørgensen AMK og Hansen N. DMI's oversættelse af IPCC's Summary for Policy Makers. 2008 <http://www.dmi.dk/dmi/syrspmdkweb.pdf> (3. maj 2009).
5. Lockwood M, Fröhlich C. Recent opposite trends in solar climate and the global mean surface air temperature. *Proc Soc Roy A* 2007;463: 2447-60.
6. Svensmark H, Pedersen JOP, Marsh ND. Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions. *Proc Roy Soc A* 2007;463:385-96.
7. Canadell JG, Le Quéré C, Raupach MR. Contributions to accelerated atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks. *Proc Natl Acad Sci* 2007;104:47:18866-70.
8. Keenlyside NS, Latif M, Jungclaus J. Advancing decadal-scale prediction in the North Atlantic sector, *Nature* 2008;453:84-8.
9. Van Vuuren DP and Riahi K. Do recent emission trends imply higher emissions forever? (Editorial), *Climate Change* 2008;91:237-48.
10. Allen RJ, Sherwood SC. Warming maximum in the tropical upper troposphere deduced from thermal winds. *Nature Geoscience* 1, 2008;399-403.
11. Mote TL. Greenland surface melt trends 1973-2007: Evidence of a large increase in 2007. *Geophys Res Lett* 2007;34:L22507.
12. Grinsted A, Moore JC, Jevrejeva S. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200-2100 AD. *Clim Dyn* 2009. Doi:10.1007/s000382-008-0507-2.
13. Dessler AE, Zhang Z, Yang P. Water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations. *Geophys Res Lett* 2008;35: L20704.

Luftkvalitet og klimaforandringer

Professor Steffen Loft

OVERSIGTSARTIKEL

Københavns Universitet, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Institut for Folkesundhedsvidenskab, Afdeling for Miljø og Sundhed

RESUME

Luftkvalitet, sundhed og klimaforandringer hænger tæt sammen. Ozon afhænger af temperaturen og af drivhusgassen metan fra bl.a. kvæg og biomasse. Pollenforekomst afhænger af temperatur og CO₂. Effekten af klimaforandringer på partikulær luftforurening er kompleks, men nettoeffekten er formentlig større sundhedsrisici. Begrænsning af udledning af drivhusgasser ved reduktion af kødproduktion og forbrænding til energiproduktion, transport og opvarmning vil også forbedre luftkvaliteten. Det bør sikres, at energibesparelser i bygninger og brug af CO₂-neutrale brændsler ikke forringer luftkvaliteten inde og ude.

Udledningen af drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter forventes at hæve gennemsnitstemperaturen og at øge forekomsten af ekstreme vejrforhold. Disse meteorologiske ændringer vil have potentielt alvorlige konsekvenser for menneskers sundhed, direkte

såvel som indirekte [1]. Denne oversigtsartikel fokuserer på danske forhold vedrørende temperatur og luftkvalitet.

Temperaturændringer – især hedeølger – er blevet knyttet til øget sygelighed og dødelighed, specielt relateret til hedeslag, lungesygdomme og kardiovaskulære sygdomme [1-4]. I Danmark har vi dog indtil nu haft ret få egentlige hedeølger, der af Danmarks Meteorologiske Institut defineres som situationer, hvor gennemsnittet af de højeste registrerede temperaturer målt over tre sammenhængende dage overstiger 28 °C, og varmeølger hvor gennemsnittet af de højeste registrerede temperaturer målt over tre sammenhængende dage skal overstige 25 °C. De ni varmeølger, der har været af 3-7 dages længde i 2002-2006, har ikke været associeret med nogen klar øgning i mortalitet af hjerte-kar- og lungesygdomme i dødsårsagsregisteret i Københavnsområdet [5]; men der kan let være mindre tydelige associationer mel-