

# Danmark i det globale drivhus

Af Rolf Haugaard Nielsen



Figur 1: På sporet af varmen. I april var temperaturen højere end nogensinde, siden de systematiske temperaturmålinger blev indledt i 1873. Foto: Hans Chr. Katberg Olrik Thoft.

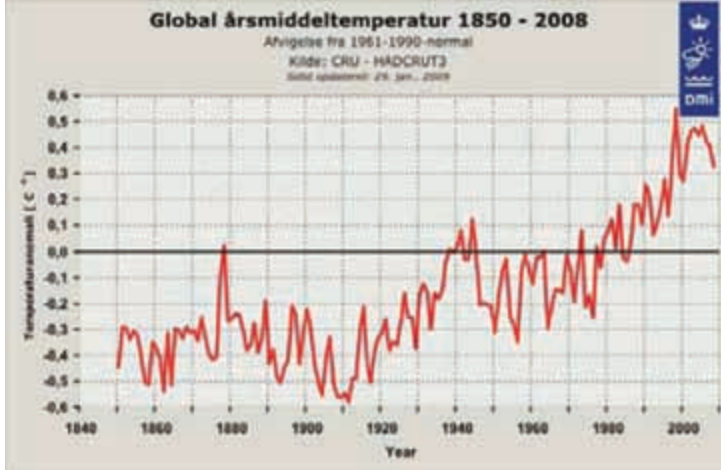
De seneste tre år er de varmeste, som er registreret i Danmark. Klimamodellerne viser, at temperaturen fortsætter med at stige frem mod år 2100, og der vil komme mere ekstremt vejr i form af hedeølger, regnskyl, storme og stormfloder.

Man kan sammenfatte de senere års klimatiske udvikling i Danmark med fire små ord: Mere af det hele. Temperaturen er steget, nedbøren er øget, og vi har fået flere solskinstimer. Frem imod år 2100 ventes opvarmningen at fortsætte herhjemme, og temperaturen vil sandsynligvis stige mest om vinteren. Nedbøren vil blive mindre i landene syd for os og kraftigere længere mod nord, mens Danmark ligger i et grænseområde, hvor udviklingen er svær at forudsige. Derimod peger de regionale klimamodeller på, at

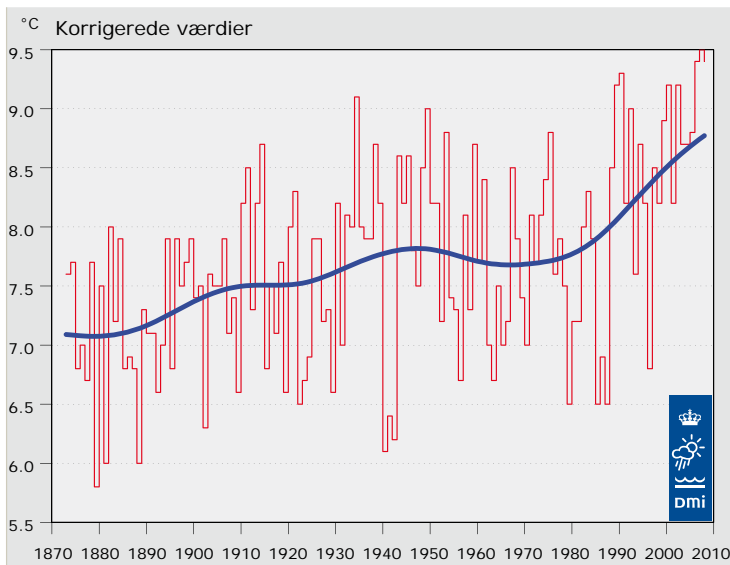
den globale opvarmning vil føre til et mere ekstremt dansk vejr. Der vil komme flere hedeølger, voldsomme regnskyl og stormfloder samt øgede vindstyrker i de stærkeste storme.

På globalt plan er temperaturen blevet målt siden 1850, og de 12 varmeste år ligger alle inden for de seneste 13 år. I løbet af det sidste århundrede er den globale middeltemperatur steget med 0,74 grader, og den største opvarmning er indtruffet siden 1975. Det hidtil varmeste år var 1998. Her lå temperaturen 0,55

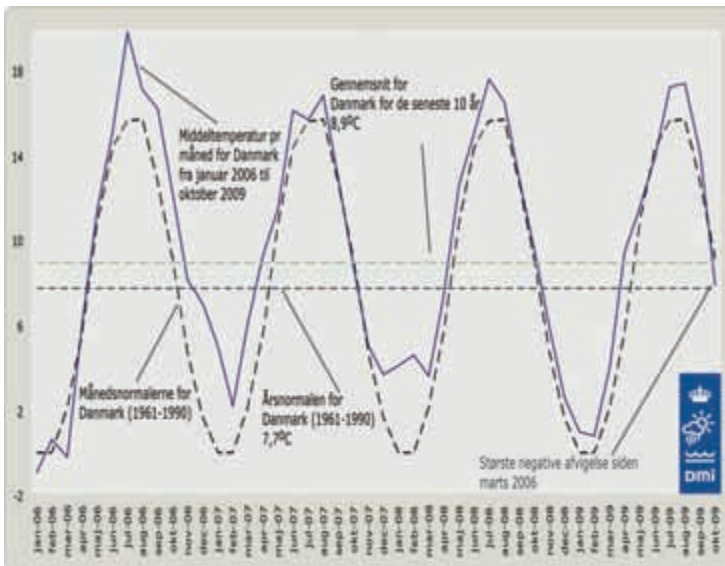
grader over gennemsnittet for perioden 1961-1990, som World Meteorological Organization (WMO) anvender som referenceramme til at vurdere nutidens klimaændringer. De næstvarmeste år var 2005 og 2003. I 2007 konkluderede FN's klimapanel IPCC, at det meste af opvarmningen siden 1950 efter al sandsynlighed skyldes de menneskeskabte udslip af drivhusgasser, som er vokset dramatisk i de senere årtier, og som for tiden stiger med 3 procent om året på verdensplan.



Figur 2: Udviklingen i den globale årsmiddeltemperatur 1850-2008. (Kilde CRU-HADCRUT).



Figur 3: Gennemsnitstemperatur i Danmark på årsplan 1873-2008. Klimaet er blevet 1,5 grader varmere i Danmark siden 1873. Opvarmningen har været særlig markant gennem de seneste 15 år. (Kilde: DMI TR 09-04 fig. 4).



### Tre år med rekordvarme

Opvarmningen er slået igennem i Danmark i løbet af de sidste 15 år, hvor temperaturen på årsplan har ligget mere end en grad over normalen på 7,7 grader. Udviklingen har været særligt markant gennem de seneste 38 måneder, hvor temperaturerne måned for måned – med undtagelse af oktober 2007 – konsekvent har overstegt gennemsnittet for 1961-1990. Samtidig er der sat flere varmerekorder for de enkelte måneder, senest i april 2009, hvor temperaturen var på 9,4 grader, mens normalen er 5,7 grader.

"Klimaet i Danmark er nu 1,5 grader varmere end i 1870, og de varmeste år i hele perioden var 2007, 2006 og 2008. Opvarmningen i de seneste tre år hænger sammen med hyppig tilførsel af mild luft ind over Danmark. Udviklingen er fortsat i år med det meget varme forår", siger senior-klimatolog John Cappelen fra DMI.

"Parallelt med temperaturstigningen siden 1870 er nedbøren øget med omkring 100 mm om året som følge af ændringer i atmosfærens strømninger. Siden 1990 har den årlige nedbør i gennemsnit været på 745 mm, hvilket er 37 mm over normalen for 1961-1990, og samtidig er der sket et skift i nedbørsmønstret, så de største nedbørsmængder nu falder om vinteren frem for om efteråret. Antallet af solskinstimer er ligeledes steget i de senere årtier. Hvad vinde angår, blæste det lige så meget i Danmark i 1850 som i dag, og generelt er vindstyrken i Nordvesteuropa uændret siden dengang", fortsætter John Cappelen.

Figur 4: Tre rekordvarme år. Bortset fra oktober 2007 har alle måneder fra januar 2006 til maj 2009 været varmere end normalt. Kilde: DMI.

Figur 5: En af de automatiske målestationer i Danmark, som måler lufttemperaturen hvert tiende minut. Foto: DMI.



### Boks 1: Klimamålinger i Danmark

DMI står for klimamålingerne i Danmark, som i stigende grad udføres med automatiske metoder.

*Luftryk og lufttemperatur:* Måles på målestationer fordelt over hele landet. Målingerne udføres med elektroniske sensorer, der er anbragt i ventilerede skærme to meter over terrænet.

*Nedbør:* Nogle målinger udføres manuelt med vandmålere, som tømmes hver morgen kl. 8, hvorpå resultaterne indtelefoneres til DMI. Andre målinger udføres automatisk bl.a. ved vejning af nedbøren, hvilket især er en fordel, når det sner. Punktmålingerne kan kombineres med radarmålinger, som dækker større dele af landet.

*Solstråling og solskinstimer:* Siden 2002 har man anvendt elektroniske pyranometre, som måler tilførslen af Solenergi i watt pr. kvadratmeter. Energtilførslen omregnes til solskinstimer.

*Vind:* Vindstyrken måles med kopanemometre, som er anbragt i master ti meter over terrænet for at undgå turbulensen nær jordoverfladen. Jo hurtigere anemometeret drejer rundt, jo stærkere blæser det. Vindretningen måles med vindfaner.

*Vejrtype, sigtbarhed og skyer:* Måles automatisk med optiske sensorer samt ved manuelle observationer. Skyernes højde måles de fleste steder med ceilometre, der sender laserpulser op i luften. Pulserne reflekteres af skyerne, og ankomsttidspunktet for de reflekterede stråler viser skyernes højde over jordoverfladen. Sky-mængden bestemmes ved at registrere de skyer, som i en given tidsperiode driver hen over måleren.

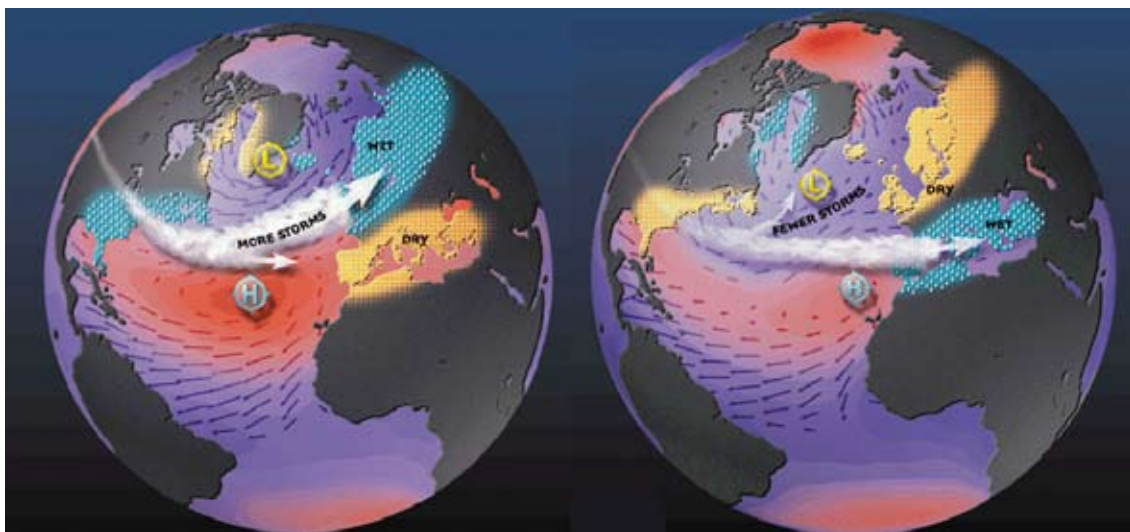
### Kurverne taler for sig selv

Af de mange klimaforandringer i Danmark er temperaturstigningen den mest markante, og det store spørgsmål er selvfølgelig, om opvarmningen skyldes naturlige variationer eller globale klimaændringer som følge af den menneskeskabte drivhuseffekt. Svaret er: Begge dele.

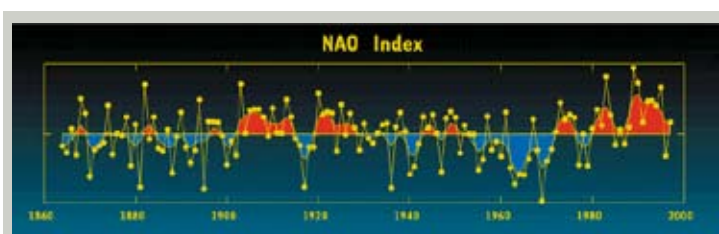
Det er især vintrene, som er blevet varmere. Det hænger bl.a. sammen med et klimafænomen, som kaldes den nordatlantiske oscillation (NAO), og som styres af højtryk over Azorerne og lavtryk over Island. Når NAO er inde i sin positive fase, er trykforskellen stor, og de kolde vinterstorme følger en nordlig bane mod Vestgrønland, mens mildere og våde vinde blæser ind over Nordeuropa. I den negative fase er trykforskellene mindre. Så kommer der færre vinterstorme til Grønland, og de milde og våde vinde fra Atlanterhavet blæser især ind over Sydeuropa, hvorved vintrene bliver varmere i Grønland og koldere i Nordeuropa. Den nordatlantiske oscillation har været inde i sin positive fase siden begyndelsen af 1980'erne, og det har bidraget til de varme vintre i Danmark og vore nabolande gennem de seneste 15 år.

"Der er altid skift mellem kolde og varme år, og derfor er det svært at skelne mellem naturlige variationer og global opvarmning som følge af den menneskeskabte drivhuseffekt. Men når det er sagt, så mener de fleste, at temperaturen på verdensplan gennem mange år er steget på grund af udslip af drivhusgasser fra afbrænding af fossile brændstoffer, og den globale opvarmning slår naturligvis igennem i Danmark ligesom alle andre steder. Klimakurverne taler for sig selv", siger John Cappelen.





Figur 6: Den Nordatlantiske Oscillation (NAO) varierer mellem to faser, som har afgørende betydning for klimaet i Europa om vinteren. Til venstre: Den positive fase med stor trykforskel mellem Azorerne og Island sender milde og våde vinde ind over Nordeuropa. Til højre: Den negative fase med mindre trykforskel medfører et koldere og mere tørt klima i Nordeuropa. Grafik fra <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>.



Kurven viser variationerne i NAO siden 1870. Den positive fase har domineret fra først i 1980'erne, hvilket har medvirket til de varme år i Danmark og Nordeuropa. Grafik fra <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>.

## Boks 2:

### Påvirkes NAO af mere CO<sub>2</sub> i atmosfæren?

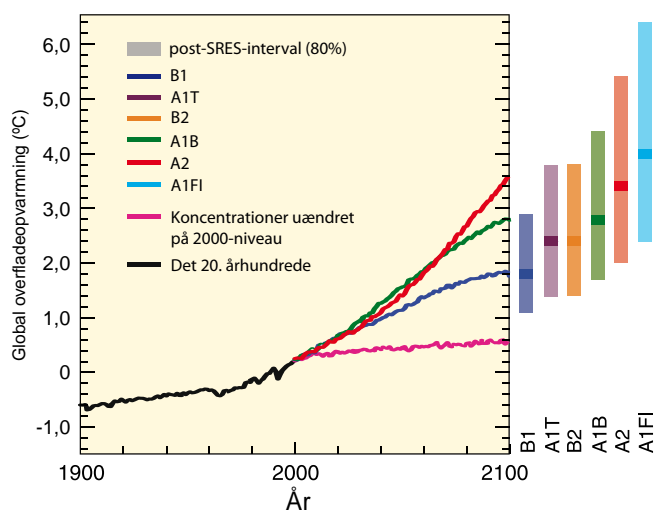
Gennem de seneste tre årtier er den nordatlantiske oscillation generelt blevet stærkere, og den positive fase nåede et historisk maksimum i 1990'erne. Forstærkningen af NAO er årsag til en betydelig del af opvarmningen om vinteren i Nordeuropa og det nordvestlige Asien, og NAO er således en væsentlig spiller bag den globale opvarmning.

I de senere år har internationale klimaforskere sat fokus på, om der er en sammenhæng mellem de stigende koncentrationer af CO<sub>2</sub> i atmosfæren og forstærkningen af NAO's positive fase. Det kan meget vel tænkes. Øgede atmosfæriske koncentrationer af drivhusgassen afkøler stratosfæren, og om vinteren forstærker afkølingen den stratosfæriske vindcirkulation 60 kilometer over Arktis. Fænomenet kan føre til kraftigere vestlige vinde ved jordoverfladen, hvilket er i overensstemmelse med en stærk positiv fase af den nordatlantiske oscillation.

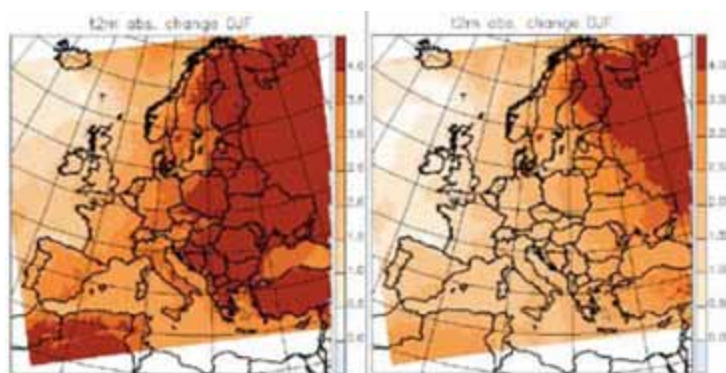
## Fremtiden i Europa og Danmark

Da IPCC udarbejdede sin seneste klimarapport, brugte ekspertpanelet globale klimamodeller til at beregne de sandsynlige konsekvenser af udslip af forskellige mængder drivhusgasser frem imod år 2100. Et af scenarierne, A2, fremskriver i grove træk den igangværende udvikling og ventes at føre til globale temperaturstigninger på mellem 2,0 og 5,4 grader med en middelværdi på 3,4 grader. Et andet scenarium, B2, med en forstærket klimaindsats peger på globale temperaturstigninger på mellem 1,4 og 3,8 grader i løbet af århundredet med en middelværdi 2,4 grader. Sidstnævnte scenarium indebærer, at det globale udslip af drivhusgasser skal begrænses med mindst 30 procent inden 2030 målt i forhold til år 2000.

Klimaforskere fra DMI har sammen med schweiziske, engelske, finske, irske og tyske kolleger udviklet højtopløste regionale klimamodeller, som giver et bud på, hvilke forandringer de globale klimaændringer vil medføre i



Figur 8: Figuren er fra IPCC's klimarapport og viser den forventede udvikling i den globale temperatur frem imod år 2100 for seks forskellige udslipsscenarioer. Scenarierne, bl.a. A2 og B2, har dannet grundlag for beregninger med højt opløste regionale klimamodeller for Europa.



Figur 9: De to kort viser de forventede temperaturændringer i Europa om vinteren. Til højre A2 scenariet. Til venstre B2 scenariet. Kilde: Danish Climate Centre Report 6-02.

Europa og dermed i Danmark. På det overordnede plan forudsiger modellerne temperaturstigninger om vinteren på 2-3 grader i Skandinavien og op til 4 grader i den nordvestlige del af Rusland, mens temperaturstigningerne i Sydeuropa kun bliver på 1-2 grader. Om sommeren er tendensen omvendt med voldsomme temperaturstigninger på 5-6 grader i Sydeuropa og 1-2 grader i Nord-europa.

Hvad nedbøren angår, peger modelberegningerne overordnet set på stigende regnmængder i det nordøstlige Europa og Skandinavien samt markant faldende nedbør i Sydeuropa, hvor tørke og skovbrande i forvejen er tilbagevendende problemer, som vil blive forværret frem imod år 2100. For Danmarks vedkommende er det usikkert, om vi får mere eller mindre regn om sommeren, da vi ligger lige på grænsen mellem

områderne med stigende og faldende sommernedbør.

På grund af de varmere vintre herhjemme vil antallet af frostdage falde, og vækstsæsonen blive forlænget – med op til to måneder i A2 scenariet. Vi er med andre ord temmelig heldige, især sammenlignet med de tørkeramte Middelhavslande. Ganske vist bliver regnmængden sandsynligvis en smule mindre i Danmark om sommeren, men her kan landbruget vælge afgrøder, som er velegnede til dyrkning under de nye klimaforhold.

En joker i spillet er globale vandstandsstigninger, som i sigens natur er relevante for et kystland som Danmark. IPCC forudsagde, at vandstanden i oceanerne ville stige med mellem 18 og 59 centimeter frem mod år 2100, primært fordi opvarmning af havvandet øger dets volumen. Men panelet erkendte åbent, at det var vanskeligt at afklare, om smeltning af iskapperne på Grønland og Antarktis ville få havene til at stige yderligere. Eksperterne manglede dengang både måledata og gode modeller over iskappernes dynamik i en varmere verden. Siden har satellitmålinger vist, at iskapperne er på skrupp både i nord og syd. På Grønland svinder Indlandsisen ind med 150 mia. tons om året, mens det årlige massetab fra iskapperne på Antarktis er på 200 mia. tons, hvoraf det meste kommer fra Vestantarktis.

"Det er sandsynligt, at vandstandsstigningerne i løbet af århundredet kommer til at ligge på mellem 35 og 85 centimeter, men der er stadig betydelig usikkerhed om fremtidens havniveau", siger klimaforsker Martin Drews fra DMI.

### Flere hedeølger

Én forudsigelse går igen i samtlige regionale klimamodeller, og det er en stigende frekvens af ekstremt vejr såsom hedeølger og voldsomme regnskyl samt en



Figur 10: Hedebølger om sommeren efterfulgt af tordenskyll vil blive mere hyppige i Danmark.  
Foto Anders Bruun, andersbruun.com.

forøget risiko for kraftige storme og stormfloder.

"Når de globale temperaturer stiger, kommer der mere energi ind i klimasystemet, og energiudvekslingen mellem de forskellige dele af verden stiger. Det skaber grobund for mere ekstreme vejrforhold", siger Martin Drews.

Gennem de sidste hundrede år er frekvensen af hedebølger i Europa steget. Den voldsomme hedebølge i sommeren 2003 er det seneste eksempel, og schweiziske forskere har vurderet, at

forholdene den sommer meget vel kan svare til en almindelig sommer sidst i århundredet. En hedebølge defineres som mindst fire dage i træk, hvor temperaturen ligger mere end fem grader over gennemsnitstemperaturen for årstiden.

Fremover vil opvarmningen af de europæiske landmasser om sommeren føre til flere hedebølger, og både antallet og varigheden vil afhænge af de globale temperaturforhold. Klimaforsker Ole Bøssing Christensen fra DMI har beregnet, at IPCC's

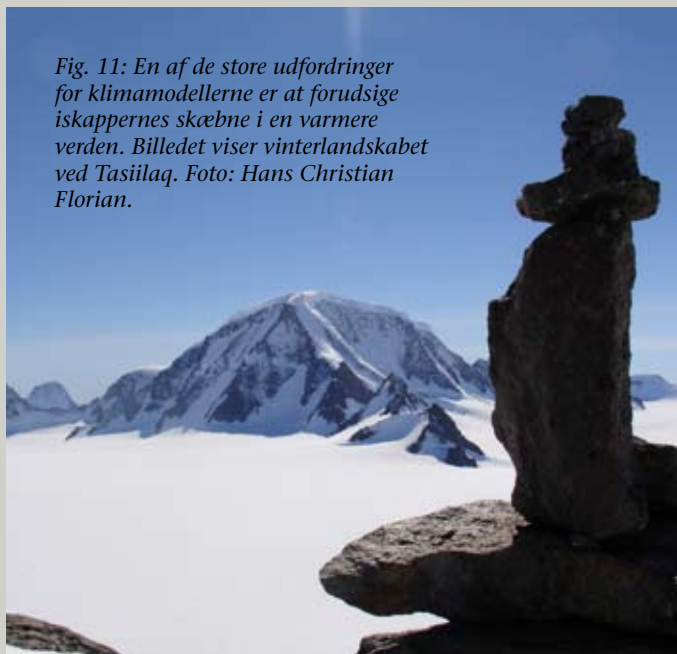
A2 scenarium med globale temperaturstigninger på omkring 3,4 grader vil føre til dobbelt så mange hedebølger i Europa, som hvis det lykkes at opfylde EU's klimamålsætning om at holde de globale temperaturstigninger under 2 grader. Hedebølgerne vil ofte blive afsluttet af voldsomme tordenskyll.

Uanset det valgte scenarium ventes antallet af hedebølger at stige mest i Centraleuropa, som vil få lige så mange sommerdage med dagtemperaturer på over 30 grader, som det nu er normalt i

**Tabel 1: Konsekvenser af ekstreme vejrforhold**

	Helbred	Landbrug	Skovbrug	Bygninger og infrastruktur	Økosystemer
<b>Hedebølger</b>	Øget sygdom og dødelighed	Skader på afgrøder, stress for husdyr	Formindsket vækst, flere skadedyr, vandmangel	Øget energiforbrug til køling	Stress for vilde dyr og planter
<b>Voldsomme regnskyll og tørke</b>	Oversvømmelser, forringet vandkvalitet, vandmangel.	Misvækst som følge af vandmangel eller for voldsom nedbør	Vandstress	Oversvømmelser, landskred, sammensynkning af jordbunden, skader på fast ejendom	Jorderosion, vandstress
<b>Storme</b>	Ulykker	Skader på afgrøder	Tab af tømmer, insektskader	Skader på bygninger	Reduceret biodiversitet
<b>Stormfloder</b>	Oversvømmelser	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion

Fig. 11: En af de store udfordringer for klimamodellerne er at forudsige iskappernes skæbne i en varmere verden. Billedet viser vinterlandskabet ved Tasiilaq. Foto: Hans Christian Florian.



### Boks 3:

#### Den næste generation af klimamodeller

Grundlæggende indeholder de globale klimamodeller tre dominerende usikkerheder. Den ene er i hvor høj grad det vil lykkes verden at bremse eller nedbringe udslippene af drivhusgasser. Den anden er, hvor følsomt Jordens klimasystem er over for forskellige koncentrationer af CO<sub>2</sub>, metan og andre drivhusgasser i atmosfæren. Og den tredje er, hvor godt modellerne repræsenterer klimasystemet som helhed.

De fremtidige udslip er et politisk spørgsmål, men forbedrede klimamodeller kan øge forståelsen af klimasystemet og dets følsomhed over for drivhusgasser. Det kan føre til mere sikre bud på konsekvenserne af de politiske beslutninger; ikke mindst på klimatopmødet i København senere på året.

"En vigtig forbedring i klimamodellerne er, at man nu er begyndt at kunne beregne, hvordan Jordens store iskapper vil reagere på globale temperaturstigninger. De første modeller er simple, men næste generation vil blive bedre", siger Martin Drews.

Den næste store udfordring for klimamodellerne bliver bl.a. at omfatte hele kulstofkredsløbet især med hensyn til, hvordan biosfæren vil reagere på øgede mængder af CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Hidtil har modellering af klimaet primært været en fysisk baseret videnskab, men fremover skal biologernes viden indarbejdes i modellerne i langt højere grad.

Endelig bliver det nødvendigt at kombinere de fysisk-biologiske modeller med grundlæggende socioøkonomiske scenarier. "Vil verdens lande aktivt bekæmpe klimaforandringerne, eller vil vi give op og tilpasse os de nye forhold? I sidste ende bliver menneskenes reaktion afgørende", siger Martin Drews.

Sydeuropa. Hedeølger om sommeren vil også blive mere hyppige i Danmark, men ikke i samme omfang.

#### Voldsomme regnskyl

Regnskyl, der er så voldsomme, at de kan føre til oversvømmelser, følger et forskelligt mønster om sommeren og om vinteren i Europa. Om vinteren fremkaldes oversvømmelser typisk af langvarig regn, som varer fem dage eller mere, mens oversvømmelser om sommeren for det meste skyldes lokaliserede regnskyl, der ofte er overstået samme dag.

Om vinteren forudsiger klimamodellerne, at der vil blive flere ekstreme regnskyl nord for Alperne og færre i Sydeuropa. Modelberegningerne forudsiger en tredobling af frekvensen i det nordvestlige Europa, Østeuropa og Skandinavien. Om sommeren vil der blive markant færre voldsomme regnskyl i Sydeuropa og flere i Skandinavien og Nordøsteuropa.

"Danmark ligger i en zone, hvor det er svært at forudsige udviklingen i nedbøren, specielt om sommeren. Men klimamodellerne peger på, at vi vil få flere hedeølger, som ofte efterfølges af tordenvejr. Vejret i de senere år med ekstreme regnskyl om sommeren er et meget godt billede på, hvad der sikkert kommer mere af", siger Martin Drews.

#### Storme og stormfloder

Det er vanskeligt at modellere de fremtidige ændringer i vindmønstre og stormstyrker, men DMI's beregninger indikerer, at Danmark næppe vil få flere storme, men at stormene til gengæld vil vokse i styrke. Flere regionale klimamodeller peger samtidig på, at der vil komme flere vinterstorme ind over Nordeuropa fra Nordøen, hvilket vil medføre en stigende frekvens af stormfloder, i Holland, Tyskland og Danmark.

"For Vesterhavets vedkommende er der udført simple mo-

delberegninger, hvor skønnet er 30 centimeter højere stormfloder frem imod år 2100, og her til skal så lægges den generelle vandstandsstigning i verdenshavene. Men der er behov for at udføre egentlige koblede regionale modelberegninger, som omfatter både hav og atmosfære, for at komme med et realistisk bud på fremtidens regionale vandstandsstigninger og stormfloder. Men hensyn til Østersøen og de indre farvande er der endnu ikke udført beregninger", siger Martin Drews.

Storm P. sagde engang, "at det er svært at spå, især om fremtiden", men der begynder at tegne sig et billede af klimaet i Danmark om hundrede år: Varmere vintre med mere nedbør, varmere somre med masser af solskin og mindre regn. Flere hedeølger, flere voldsomme regnskyl, kraftigere storme og højere stormfloder.

*Rolf Haugaard Nielsen er freelance videnskabsjournalist. Denne artikel er skrevet på vegne af DMI.*

#### **Kilder:**

DMI tema, 19. marts 2007: Klimaudviklingen frem til i dag  
[http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/klimaet\\_indtil\\_nu.htm](http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/klimaet_indtil_nu.htm)

DMI Nyhed 28. januar 2009: Vindstyrken i Nordvesteuropa uændret siden midten af 1800-tallet  
[http://www.dmi.dk/dmi/vindstyrken\\_i\\_nordvesteuropa\\_uaendret\\_siden\\_midten\\_af\\_1800-tallet](http://www.dmi.dk/dmi/vindstyrken_i_nordvesteuropa_uaendret_siden_midten_af_1800-tallet)

DMI Nyhed 3. maj 2009: Tre år i varmen  
[http://www.dmi.dk/dmi/36\\_maaneders\\_varme](http://www.dmi.dk/dmi/36_maaneders_varme)

DMI Technical Report 09-02, Dansk vejr siden 1874 – måned

for måned med temperatur, nedbør og soltimer samt beskrivelser af vejret; John Cappelen og Bent Vraae Jørgensen  
[http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04\\_grafik.zip](http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04_grafik.zip)  
<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-02.pdf>  
<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-02.zip>

DMI Technical Report 09-04, DMI Annual Climate Data Collection 1873-2008, Denmark, The Faroe Islands and Greenland; John Cappelen.  
<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04.pdf>  
[http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04\\_data.zip](http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04_data.zip)

DMI, Danish Climate Centre Report 06-02, Regional climate change in Denmark to a global 2-degree-warming scenario; Ole Bøssing Christensen  
<http://www.dmi.dk/dmi/dkc06-02>

Storms in Denmark, 1891 – 2008 edited by John Cappelen and Stig Rosenørn, DMI  
<http://www.dmi.dk/dmi/storme-2.pdf>

DMI, Klimamålinger i Danmark:

Nordstrøm C (2005): Bag om meteorologiske instrumenter: Måling af lufttryk ved DMI, Vejret 102, s. 30.

Nordstrøm C (2005): Måling af lufttemperaturer ved DMI, Vejret 103, s. 33.

Nordstrøm C (2005): Måling af luftfugtighed ved DMI, Vejret 104, s. 14.

Nordstrøm C (2005): Måling af globalstråling og solskinsvarighed ved DMI, Vejret 105, s. 12.

Nordstrøm C (2006): Måling af vind ved DMI, Vejret 105, s.12.

Nordstrøm C (2006): Måling af nedbør ved DMI, Vejret 106, s. 4.

Nordstrøm C (2006): Måling af vejrtype, sigtbarhed og skyhøjde ved DMI, Vejret 108, s. 7.

Dansk Meteorologisk Selskab DaMS – Artikler i Vejret N-U  
[http://dams.dk/?Medlemsbladet\\_Vejret:Artikler\\_i\\_Vejret:N\\_-\\_U](http://dams.dk/?Medlemsbladet_Vejret:Artikler_i_Vejret:N_-_U)

Videncenter for Klimatilpasning, Klima- og Energiministeriet, Energistyrelsen  
[www.klimatilpasning.dk](http://www.klimatilpasning.dk)

Global Temperature; Climate Research Unit, University of East Anglia, UK  
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

North Atlantic Oscillation; Lamont-Doherty Earth Observatory, The Earth Institute, Columbia University, USA  
<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>