

2011

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 3

KLIMAÆNDRINGER I FORTID OG NUTID



KLIMAÆNDRINGER I FORTID OG NUTID

OLE BENNIKE

Geolog, GEUS

obe@geus.dk

Klimaet har altid ændret sig, men i dag er der grund til bekymring, fordi mennesket for alvor er begyndt at påvirke klimaet. I dette hæfte gennemgår vi eksempler på, at klimaet i fortiden har været både varmere og koldere end i dag. Derefter ser vi på klimaudviklingen gennem de senere årtier, hvor opvarmningen har ført til, at både havis og gletsjeris er smeltet alarmerende hurtigt. Endelig ser vi på, hvad klimamodeller siger om fremtidens klima. De globale klimaændringer og den uafvendelige, voldsomme vækst i Jordens befolkning vil næsten uundgåeligt føre til knaphed på fødevarer og andre ressourcer.

Klimaændringer debatteres heftigt i disse år. Næsten hver uge er der nye historier, og det kan være meget svært at se, hvad der egentligt er relevant. FN's klimapanel har fastslået, at menneskeskabte klimaændringer nu er en realitet. I dette hæfte vil vi forsøge at bringe en kortfattet oversigt over emnet og se på, hvad vi egentlig ved.

TO EKSEMPLER PÅ VARME PERIODER

Skoven ved Nordpolen

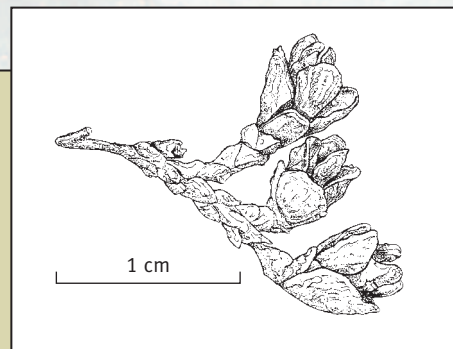
Ved Kap København i Nordgrønland bliver de højeste planter i dag omkring 10 cm høje. Det afspejler at sommeren er kort og kold. Selv i den varmeste måned kommer gennemsnitstemperaturen kun op på 3–4°C. Men i bakkerne ved

Kap København findes talrige rester af planter, som viser, at der tidligere har vokset små træer i området. Der er for eksempel fundet træstammer, kviste og kogler af tuja, som i dag vokser vildt i den sydøstlige del af Canada, ca. 2.500 km syd for Kap København.

På grundlag af planternes nuværende temperaturkrav anslår vi, at gennemsnitstemperaturen for årets varmeste måned var omkring 10–11°C, eller 7–8°C højere end i dag. Det er dog vigtigt at understrege, at vi ikke direkte kan måle, hvordan klimaet var i fortiden. Men inden for de seneste par millioner år kan vi dog rekonstruere fortidens klima med stor præcision, fordi vi finder rester af nogle af de samme arter, som lever i dag. Vi kan også sige, at det var så



Den røde prik viser beliggenheden af Kap København i Nordgrønland, hvor vi har fundet rester af tuja og andre træer. Det grønne område viser tujas nuværende naturlige udbredelse.

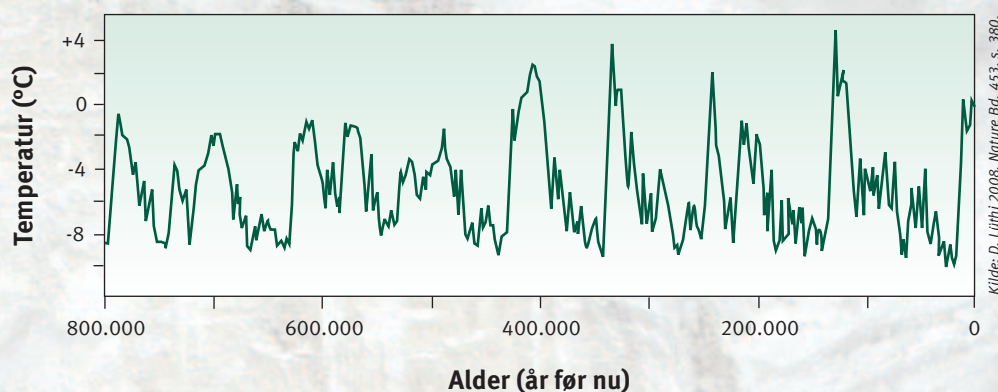


Kvist af tuja.

Tegning: Christian Rasmussen, Geologisk Museum.

Grafik: Ole Bennike.

Klimakurve som viser, hvordan klimaet har skiftet mellem varme mellemistider og kolde istider. I Antarktis, som kurven stammer fra, er forskellen mellem en istid og en mellemistid op til 12° C, i Grønland er forskellen op til 20° C, mens forskellen ved troperne kun er få grader.



varmt, at Indlandsisen ikke kunne eksistere, og at Polhavet nord for Grønland var isfrit om sommeren – modsat i dag, hvor havet er dækket af havis hele året. Ud fra en lang række dateringsmetoder er skoven dateret til at have vokset for omkring 2 millioner år siden. Det skal nævnes, at Grønland for 2 millioner år siden lå nogenlunde samme sted på kloden som i dag.

Eem-tiden

På grund af astronomiske forhold har klimaet de sidste millioner år vekslet mellem varme mellemistider og kolde istider. Den serbiske matematiker Milutin Milankovitch var en af de første, som påviste at der kunne være en sammenhæng mellem astronomiske forhold og klimaet. Han offentliggjorde sin første afhandling på serbisk i 1914, men dels på grund af sproget, dels på grund af verdenskrigens udbrud blev den næppe bemærket. Men efter krigen blev hans beregninger bragt videre til et bredere publikum af tyskerne Vladimir Köppen og Alfred Wegener. Som nævnt ovenfor skyldes

det astronomiske forhold at klimaet har vekslet mellem istider og mellemistider under kvartærtiden. Det vil være for komplekst at komme nærmere ind på her, hvordan det hænger sammen. Det skal dog nævnes, at en istid i gennemsnit varer omkring 100.000 år og en mellemistid omkring 10.000 år. Under istiderne var Skandinavien og Danmark i perioder isdækkede, men i lange perioder var Danmark isfrit og kendetegnet af tundra-vegetation.

Den sidste mellemistid fandt sted for ca. 130.000 til 115.000 år siden og kaldes Eem-tiden efter floden Eem i Holland. Klimaet var stabilt og det var betydeligt varmere end i dag. Længs floderne i Europa levede flodheste, ja de fandtes så langt nordpå som til Themsen. Andre store pattedyr i Europa omfattede skov-elefant og vandbøffel. Store dele af Europa var dækket af en tæt, mørk skov, som mindede om den naturskov, der dækkede Europa efter sidste istid – før mennesket begyndte at rydde skoven. Bøg var dog et sjældent træ i Eem-tiden i Nordvesteuropa.

I de arktiske regioner er aflejringer fra Eem-tiden veldokumenterede fra Østgrønland. Her fandtes også en fauna, som omfattede et stort antal af arter, som ikke siden har levet i Grønland. Faunaen indeholdt bl.a. en lang række biller, hvoraf de mest varmekrævende i dag lever i Skandinavien.

Floraen omfattede ligeledes en længere række plantearter, som ikke vokser så langt nordpå i dag. Mest påfaldende er, at der voksede birketræer og elletræer i det centrale Østgrønland, langt nord for deres nuværende nord-grænse. Det antages, at gennemsnits-temperaturen i Østgrønland for årets varmeste måned var omkring 5°C højere end i dag, hvilket passer godt med data fra Canada og fra Indlandsisen. Det er i øvrigt vigtigt at bemærke, at Indlandsisen overlevede Eem-tiden, selv om det var varmere end i dag. Det skyldes formentlig, at mellemistiden ikke varede længe nok til at isen kunne nå at smelte.

Under udgravninger i London finder man nu og da rester af flodheste, som levede ved Themsen under sidste mellemistid for omkring 120.000 år siden.

Foto: Jørgen Kisling-Møller.





Isdækkerne på den nordlige halvkugle under sidste istids maksimum for omkring 20.000 år siden.

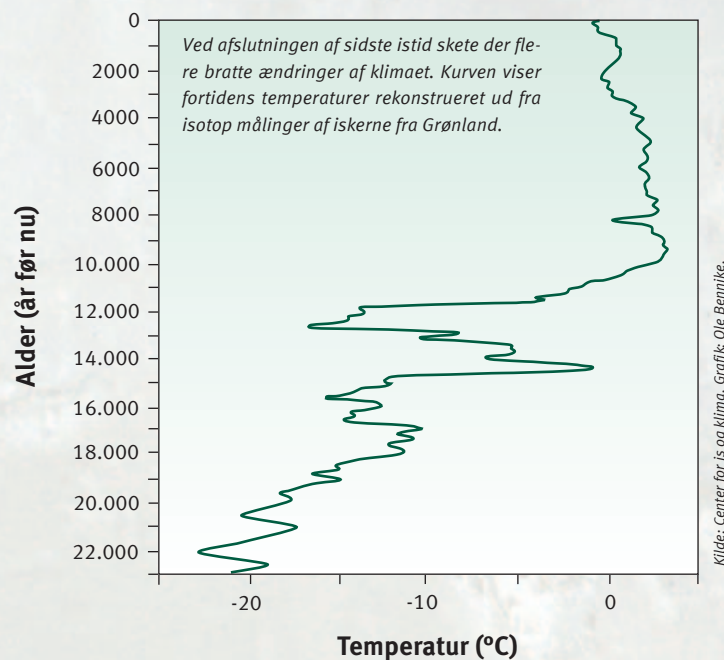
Grafik: Ole Bennike.

TO EKSEMPLER PÅ KOLDE PERIODER

Sidste istid

Under sidste istids maksimum for omkring 20.000 år siden fandtes der store isskjolde på den nordlige halvkugle. Størstedelen af Nordvesteuropa, Svalbard og den vestlige del af Rusland var isdækkede. I Nordamerika fandtes et kæmpestort isdække, som strakte sig mod syd helt ned til 40° nordlig bredde – på højde med Madrid i Europa. Mod nord flød isdækket sammen med Indlandsisen i Grønland.

Danmark var dog isfrit i lange perioder, og landet var præget af jordflydning og en tundra-lignende vegetation. Plantevæksten bestod af





Under sidste istid levede der arktiske arter i Danmark, som for eksempel rypelyng og rendyr.

Fotos: Jakob Laurup, GEUS.

mosser, urter og dværgbuske. De sidste omfattede små, krybende arter af pil, rypelyng og dværgbirk. Det er arter som i dag vokser i fjeldene i Skandinavien.

Af pattedyr er der i aflejringer fra Danmark blandt andet truffet rester af to arter lemminger, rendyr, kæmpehjort, moskusokse og hest. Men den mest iøjnefaldende art var mammut, som der er fundet omkring 200 fragmenter af, især af stødtænder og kindtænder. Længere sydpå i Europa omfattede sidste istids fauna arter som hulebjørn, huleløve og hulehyæne. De to sidste arter har i dag nære slægtninge i Afrika. Kulden var åbenbart ikke noget problem – så længe der var tilstrækkeligt med føde.

I Grønland var temperaturen under sidste istids koldeste periode omkring 20°C lavere end i dag – så det var rigtigt koldt.



Den Lille Istid

Ud fra historiske kilder fra Island har vi et godt billede af, hvordan udbredelsen af havis ved øen har varieret siden Vikingetiden. I perioden fra år 1600 til år 1900 havde havisen stor udbredelse – denne periode kaldes den Lille Istid. I visse år var havet hele vejen rundt om Island dækket af havis om vinteren.

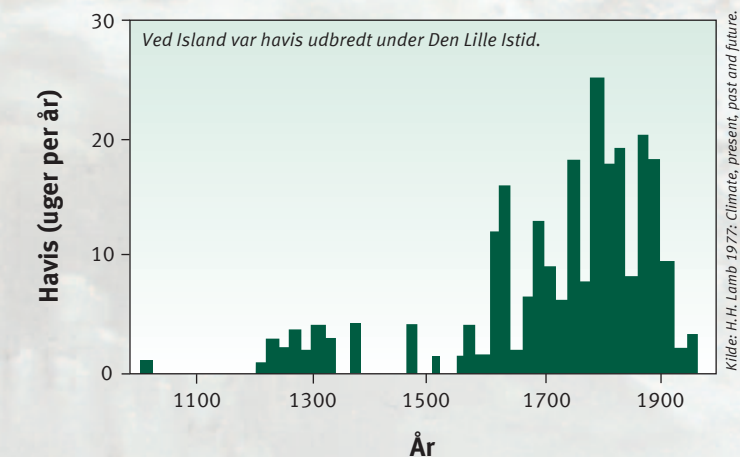
Under den Lille Istid skete det jævnligt, at floderne i England frøs til om vinteren, og i London kunne man således holde marked på Themsen. Også i Holland frøs søer og kanaler til (se forsiden), og på de danske bælter måtte man ofte anvende isbåde om vinteren i stedet for færger. Isbådene var forsynede med meder, så man kunne trække og skubbe dem over isdækkede områder. Når man kom til våger eller større strækninger med åbent vand, blev bådene sat i vandet. Det var også under den Lille Istid, at den svenske hær krydsede de danske bælter, først fra Jylland til Fyn og senere fra Fyn til Lolland via Langeland. Kulden under den Lille Istid var således medvirkende til, at Danmark måtte afstå Skåne, Halland og Blekinge. Hvor København tidligere lå centralt i Danmark, kom byen til at ligge i udkanten af landet.

I Europas bjergegne oplevede de lokale folk at gletsjerne voksede, og gårde eller endog hele landsbyer blev begravet under is. Også i Island forsvandt gårde og marker under den fremrykkende is. Mange steder i Alperne, Nordeuropa og Grønland kan man i dag finde moræner, som er friske og næsten uden vegetation. Disse unge moræner blev dannet under den Lille Istid.

Under den Lille Istid skete det også, at isbjerge blev truffet langt uden for deres normale udbredelsesområde. Således blev der iagttaget flere isbjerge ved kysten af Norge, ved Irland og Skotland og endog så langt mod syd som ved Azorerne. De lave temperaturer betød, at isbjergene ikke smeltede så hurtigt som ellers.

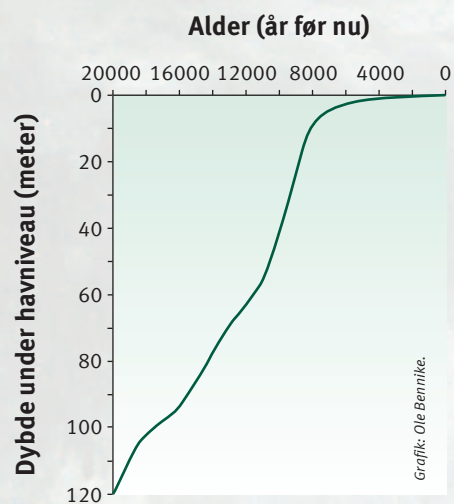
STRANDFORSKYDNING

Som en følge af klimaændringerne er der sket markante ændringer i havniveauet overalt på jordkloden. Under sidste istids maksimum, for ca. 20.000 år siden, var store mængder vand bundet i isskjolde på land. Isskjoldet i Nordamerika rummede alene omkring 30 millioner km³ is. Fordi store mængder vand var 'flyttet' fra havet op på land var havniveauet i verdenshavene ca. 120 meter lavere end i dag. I Sydøstasien betød det lave havniveau, at en



række øer var landfaste med enten Asien eller Australien. Det skabte mulighed for, at for eksempel orangutanger kunne vandre fra fastlandet over på Borneo og Sumatra, og pungdyr kunne brede sig fra Australien til Ny Guinea. Og mennesket kunne kolonisere Australien fra Asien.

Beringstrædet mellem Asien og Alaska var tørlagt, og mange forskellige arter pattedyr, herunder mennesket, indvandrede til Nordamerika fra Asien. De nordsibiriske øer var landfaste med Rusland, og mammutter kunne etablere sig på disse øer. I Middelhavet var en del øer tilsvarende landfaste, og de blev koloniseret af elefanter, der udviklede sig til dværgelefanter, da havniveauet steg og øerne blev isolerede.



Havniveauet steg omkring 120 m efter sidste istid. De seneste ca. 5000 år har havniveauet været nogenlunde stabilt.



I området mellem Sydøstasien og Australien findes store lavvandede havområder, som var tørlagte under sidste istids maksimum. Fordelingen af land og hav under sidste istid forklarer de store forskelle i plante- og dyreverdenen, som findes mellem Australien og Ny Guinea på den ene side og Asien, Sumatra og Borneo på den anden side.

Kilde: Charlesworth: The Quaternary Era.



Kort efter sidste istids maksimum opstod der en isfri korridor i Nordamerika, og mennesket kunne vandre fra Asien til Amerika. Hele Amerika, helt ned til sydspidsen af Sydamerika, blev koloniseret i løbet af forbløffende kort tid.



Den nordlige del af Danmark blev befriet for en enorm vægt da isen smeltede bort, og i Nordjylland hævede landet sig mere end havet steg. Umiddelbart efter istiden var Nordjylland kendetegnet af en masse små og store øer, dybe fjorde og smalle stræder.



Foto: Ole Bennike.

To ribben af en grønlandshval fra en hævet strand ved Nioghalvfjerdsfjorden i Nordøstgrønland. En prøve af det ene ribben er dateret til ca. 5800 år før nu.

I de tidligere nedisede områder er havniveauet også steget, men samtidig er landet steget, fordi det er blevet befriet for en kolossal vægt. Hvis landhævnings oversteget havets stigning bliver hav- og kystaflejringer hævet op over det nuværende havniveau.

Sådanne hævede aflejringer eller landskabsformer kan iagttages mange steder i tidligere nedisede områder, for eksempel i Nordjylland, Skandinavien, Grønland og i dele af Nordamerika. Umiddelbart efter isen var forsvundet fra Nordjylland fandtes et landskab med en mas-

se øer og dybe fjorde. I de centrale dele af de tidligere isskjulte foregår der stadig en betydelig landhævning, og i den nordlige del af Østersøen andrager landhævnings omkring 9 mm per år.



Feltarbejde på en lille kratersø i Uganda.

Foto: Jonathan Cox.

BRATTE KLIMAÆNDRINGER

Studier af iskerner fra Grønland og Antarktis har de senere årtier givet et væld af oplysninger om klimaændringer i fortiden. Et af de mest opsigtsvækkende resultater er, at klimaet kan ændre sig utroligt hurtigt. Gennem detaljerede analyser af en række års-lag har det vist sig, at de bratte ændringer finder sted i løbet af et enkelt eller nogle få år. Disse bratte ændringer afspejles i data fra brint-isotoper. Så bratte ændringer kan kun skyldes ændringer i de atmosfæriske forhold. De kan ikke forklares ud fra de små og gradvise ændringer i de astronomiske forhold, og de kan ikke skyldes ændringer i havstrømme, som foregår over længere tidsrum. Selve klimaændringerne sker dog ikke helt så hurtigt som ændringerne i sammensætningen af brint-isotoperne.

Den seneste af de bratte klimaændringer fandt sted for ca. 11.700 år siden, og den svarer til afslutningen af sidste istid. Dateringen er

foretaget ved at tælle hvor mange års-lag af sne der er aflejret siden, og dateringen, baseret på års-lagene er 11.703 år før år 2000. Der er dog en vis usikkerhed ved denne tælling, fordi nogle af års-lagene er svære at erkende.

TØRKE

I det foregående har vi set på to varme og to kolde perioder. Men det er naturligvis ikke kun temperaturen, der har ændret sig i fortiden. Alle de andre parametre, der kendetegner klimaet, har også varieret. For eksempel var det mere stormende under istiderne end under mellemistiderne.

Et andet forhold, der har undergået store ændringer, er nedbørsforholdene på Jorden. For eksempel faldt der kun lidt nedbør i Amazonas regionen, som under sidste istid var et stort steppeområde. Og under arbejde i Uganda i Østafrika har vi fundet tydelige spor efter tørkeperioder. Således har vi samlet boreker-

ner fra en sø, som er 12 m dyb. Umiddelbart under søbunden fandt vi søaflejringer, men længere nede var der lag af tørv. Tørv dannes i moser, og forekomsten af tørv viser, at søen har været tørret ud og omdannet til en mose. Tørven er 2000 år gammel, og på den tid var Østafrika præget af omfattende tørke.

DE SENERE ÅRTIER

I det foregående har vi set nogle eksempler på klimaændringer over hundreder, tusinder og millioner af år. Der kunne fremdrages mange flere eksempler, men det vigtigste er at bemærke, at klimaet altid har ændret sig i fortiden. Vi må også regne med, at der kommer naturlige klimaændringer i fremtiden.

I de senere årtier er der imidlertid sket en markant, global opvarmning, som efter alt at dømme skyldes mennesket. Fra omkring år 1970 og frem til i dag er temperaturen i luften lige over jord- eller havoverfladen således ste-

get omkring en halv grad. Der er tale om et gennemsnit for hele Jorden, og i visse regioner er temperaturen steget betydeligt mere. De største temperaturstigninger ses i de nordlige egne af Jorden. Således er gennemsnitstemperaturen i arktiske regioner steget med mere end halvdelen grad inden for det samme tidsrum.

De sidste ca. 5–10 år har temperaturen været nogenlunde stabil. Det har fået visse forskere til at hævde, at opvarmningen er stoppet. Men hertil må man sige, at 5–10 år er alt for kort tid til at kunne fastslå dette.

KULDIOXID

I de senere år er det blevet mere og mere klart, at temperaturen er steget fordi atmosfærens indhold af kuldioxid er steget. Atmosfærens indhold af kuldioxid (CO₂) eller kultveilte er steget støt fra ca. 0,305 ‰ (promille) i 1950'erne til over 0,390 ‰ i dag. Det naturlige niveau for kuldioxid-koncentrationen i atmosfæren har igennem de sidste 800.000 år svinget mellem 0,180 og 0,280 ‰. Dette ved vi ganske nøje – igen ud fra analyser af iskerner.

Isen i Indlandsisen i Grønland og Antarktis dannes ved, at sneen ophobes år efter år. I de indre dele af Grønland og Antarktis er det nemlig så koldt om sommeren, at sneen ikke smelter. Sneen lægger sig derfor lag på lag, og efterhånden bliver den presset sammen af de snelag, der kommer ovenpå. Når sneen har nået en tykkelse på omkring 100 meter er trykket så stort, at sneen bliver omdannet til is.

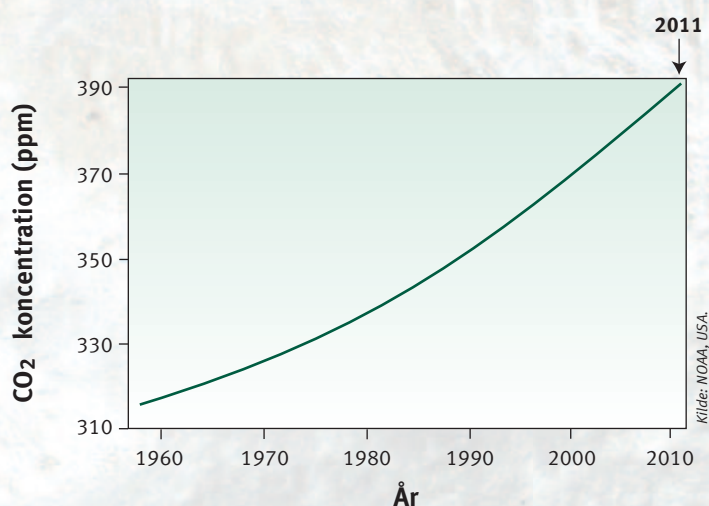
I sneen findes der masser af luft, og under den gradvise sammenpresning bliver luften isoleret i små bobler. Samtidig bliver en del af luften presset ud af sneen, men når sneen først er blevet omdannet til is, kan luften ikke mere undslippe. Hvis man smelter en prøve af isen fra en iskerne, undslipper luften, og man får derved en prøve af atmosfæren som den var, dengang sneen faldt. Man kan derefter direkte måle atmosfærens kemiske sammensætning og man behøver således ikke at gennemføre mere eller mindre spekulative rekonstruktioner.

Den stigning i atmosfærens indhold af CO₂, som vi har set siden 1950'erne, skyldes uden tvivl at mennesket har afbrændt store mængder fossile brændstoffer, især i form af kul, olie og gas. Efter anden verdenskrig har afbrændingen

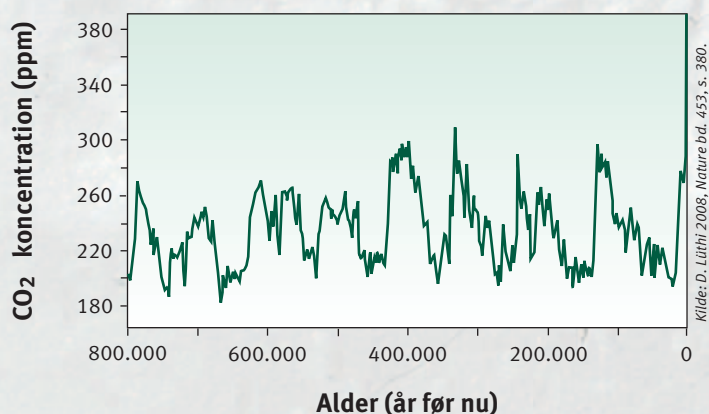
DATA

Normalt kan man ikke direkte måle, hvordan klimaet har varieret. Derfor må man anvende de såkaldte proxy data, som gennem fortolkninger kan fortælle om fortidens klima og miljø. Det kan være biologiske data. Hvis man for eksempel finder skaller af østers i en havaflejring i Danmark kan man sige, at klimaet ikke har været koldere end det vi har i dag, fordi østers ikke lever længere nordpå end Danmark. Omvendt hvis man finder skaller af arktiske arter i havaflejringer i Danmark kan man konkludere, at klimaet har været koldere end i dag. Man kan også bruge forskellige kemiske data til at rekonstruere fortidens klima, men igen er der tale om proxy data – i modsætning til direkte målinger af klimaforhold.

I gletsjeris findes luftbobler, som stammer fra den gang sneen faldt. Luften bliver fanget som bobler i isen når sneen presses sammen til is. Når man smelter isen frigives luften, og så har man prøver af atmosfæren, som kan være mange tusinde år gammel. Luftens sammensætning kan direkte måles, og der kan for eksempel udarbejdes kurver for CO₂ koncentrationen i atmosfæren igennem tiden. Sådanne data er ikke proxy data.



Koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren er steget støt gennem de sidste årtier. (ppm = parts per million).



Koncentrationen af kuldioxid i luftbobler fra iskerner fra Antarktis, og fra direkte målinger. (ppm = parts per million).

DATERING

Det er altafgørende, at de naturlige arkiver kan aldersbestemmes. Hvis der er tale om en træstamme kan man tælle årringene, og derved arbejde sig tilbage i tid. I moser kan man finde træstammer fra fortiden, og på den måde kan man komme omkring 12.000 år tilbage i tid. I Grønlands Indlandsis kan man også tælle sig tilbage år efter år, og denne kronologi går omkring 60.000 år tilbage.

Mange arkiver kan dateres ved kulstof-14 metoden. Kulstof-14 indgår i organisk stof og kalk, og da kulstof-14 er ustabil forsvinder det med tiden. Så ved at måle indholdet af kulstof-14 i en prøve får man et mål for alderen. Henfaldet af kulstof-14 er uafhængig af temperatur, og metoden rækker 30.000–40.000 år tilbage.

Ældre arkiver skal dateres med andre metoder. Der kan måske bruges andre ustabile isotoper. Eller måske kan luminescens metoden bruges. Den bygger på, at sandkorn udsættes for radioaktiv stråling mens de ligger begravet. Jo længere tid de ligger begravet, jo mere radioaktiv stråling udsættes de for. Noget af energien lagres i sandkornene og kan frigives som et lyssignal, hvis intensitet er et mål for alderen.

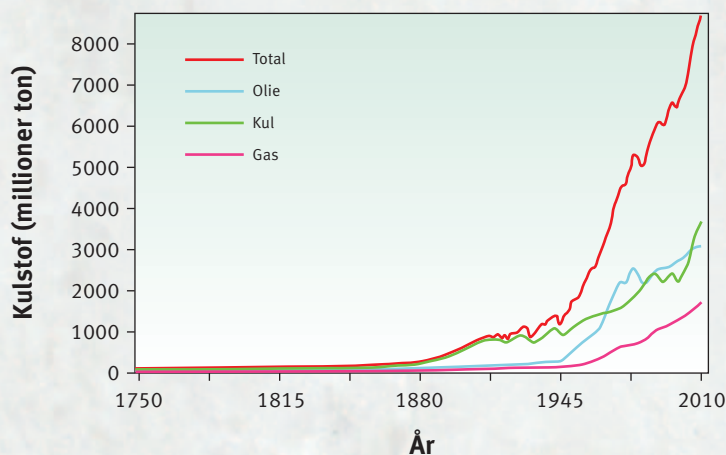
En anden vigtig metode er palæomagnetisme. De magnetiske poler bytter jævnligt plads, og det afspejles i orienteringen af magnetiske mineraler, som findes i alle sedimentter. Man kan måle, om et sediment blev dannet under normal polaritet (som i dag) eller under revers polaritet. Hvis sedimentet blev dannet under en periode med revers polaritet må det være ældre end 700.000 år, hvor den seneste polvending fandt sted.

HER KAN MAN LÆSE MERE:

Enorme mængder kulstof bundet i jorden: Geoviden nr. 3 2009, s. 18–19

Verdenshavets 'klima-maskine': Geoviden nr. 3 2009, s. 2–7

Grønlands Indlandsis og klimaet – hvad sker der?: Geoviden nr. 3 2009, s. 8–15



Koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren er steget fordi vi afbrænder mere og mere kul, olie og gas.

Kilde: The Carbon Dioxide Information Analysis Center, USA.

strålingen bliver absorberet i atmosfæren. Drivhuseffekten skal vi basalt set være glade for, for uden drivhuseffekt ville Jorden være ubeboelig. Gennemsnitstemperaturen på Jorden ville nemlig være omkring -15°C , mens den i dag er omkring $+15^{\circ}\text{C}$. Problemet er den menneskeskabte, ekstra drivhuseffekt, som fører til stigende temperaturer på Jorden.

Samtidig med at kuldioxid-indholdet i atmosfæren er steget er der også sket en markant stigning i indholdet af metan. Metan-koncentrationen i atmosfæren er meget lavere end kuldioxid-koncentrationen, men metan er en langt mere effektiv drivhusgas. Ligesom for kuldioxid skyldes stigningen i metan-koncentrationen helt uden tvivl menneskets aktiviteter.

Det er klart, at hvis temperaturen kun blev styret af koncentrationen af kuldioxid, så skulle temperaturen være steget jævnt, i det mindste siden 1950'erne, hvilket tydeligvis ikke er tilfældet. Det afspejler dels at temperaturen afhænger af mange forskellige faktorer, og at de naturlige klimaændringer fortsat spiller en stor rolle, dels at kuldioxid-koncentrationen i atmosfæren er lille, og at kuldioxid ikke er nogen særlig effektiv drivhusgas.



Askeskyen fra udbruddet af den ca. 1600 m høje vulkan Pinatubo på Luzon i Filippinerne 1991.

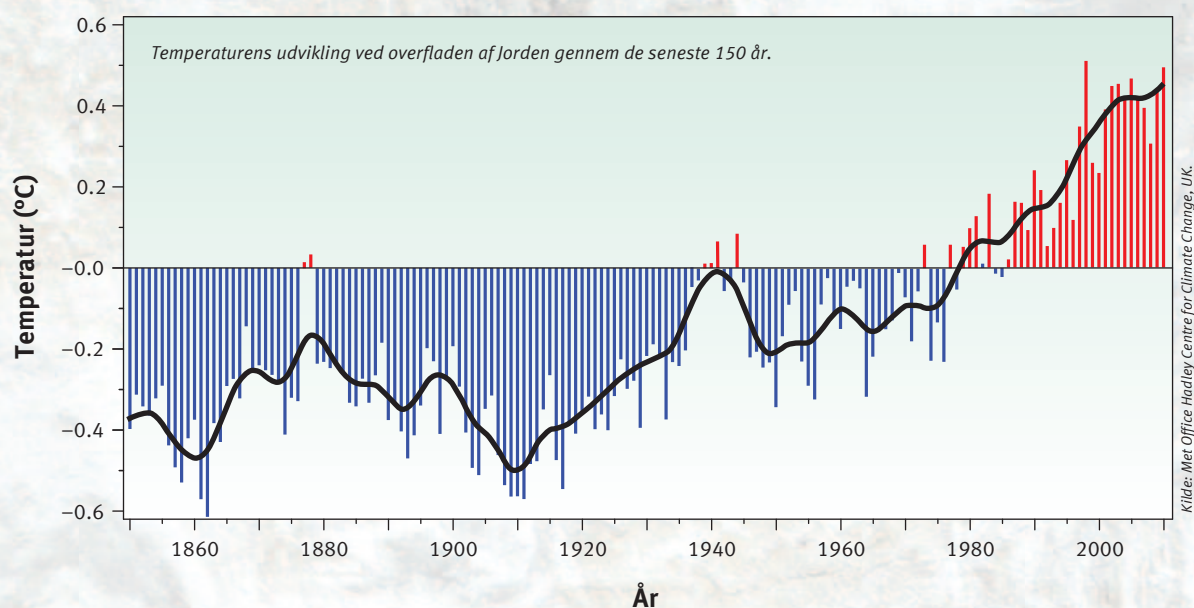
Foto: POLFOTO/Romeo Gacad.

taget fart, og der afbrændes stadig for hvert år mere og mere fossilt brændstof.

Grunden til at den stigende kuldioxid-koncentration vækker bekymring er, at kuldioxid er en drivhusgas. Den såkaldte drivhuseffekt

skyldes atmosfæren, der kan sammenlignes med glasset i et drivhus. Mens strålerne fra solen uden problem kan trænge gennem atmosfæren, så kan varmestrålerne fra Jorden dårligt slippe ud gennem atmosfæren – en stor del af

For eksempel var 1992 et forholdsvis koldt år, hvilket hænger sammen med, at vulkanen Mount Pinatubo i Filippinerne havde et voldsomt udbrud i juni 1991. Askesøjlen var 23 km høj, og der blev udslynget 30 millioner tons



aske og gas, hvoraf de 20 millioner var svovldioxid. De mange askepartikler, som blev slynget højt op i atmosfæren reflekterede en stor del af solens stråler, og derfor skete der efterfølgende en afkøling.

HVAD MED SOLEN?

Det er klart, at langt hovedparten af Jordens energi kommer fra solen, og man kunne forestille sig, at det er ændringer i solens aktivitet, der har ført til højere temperaturer i de senere årtier. Men når man sammenligner temperaturstigningen gennem de sidste årtier med sol-

strålingen er det tydeligt, at der ikke er nogen sammenhæng. Mens temperaturen er steget mere eller mindre støt, er solstrålingen i samme tidsrum gået ned.

ISEN SMELTER

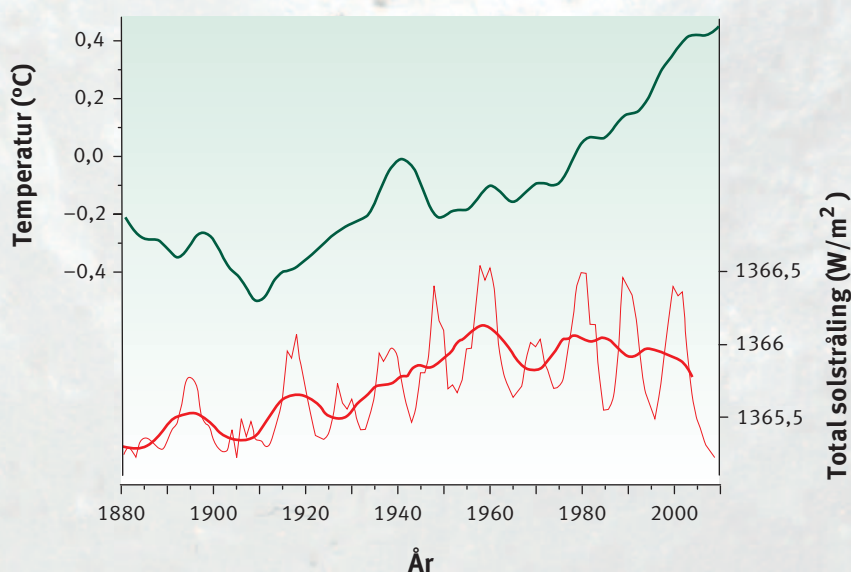
En af de mest markante følger af de højere temperaturer er, at isen på Jorden er begyndt at smelte – is er jo noget der hører kulde til. Is findes på Jorden på flere forskellige måder. Indlandsis, isskjolde og gletsjere har allerede været nævnt. Gletsjere kan findes både på land og til havs – i sidste tilfælde som flyden-

de gletsjere. En anden almindelig forekomst af is er som is på søer og på havet. Længst mod nord og længst mod syd findes søer og havområder, som er isdækkede året rundt, men isudbredelsen på søer og havet varierer ellers meget i løbet af året. Endelig skal det nævnes, at vandet i jorden i kolde områder er frosset til is – disse områder har permafrost.

INDLANDSISEN

Vi har i dag to isskjolde på Jorden, nemlig Indlandsisen i Grønland og isdækket i Antarktis. Det er meget store mængder is der findes i disse områder, nemlig omkring 2,9 millioner km³ is i Grønland og omkring 24,6 millioner km³ is i Antarktis. På grund af de store dimensioner er det meget vanskeligt at måle, hvor meget is der forsvinder. De fleste analyser er baseret på målinger fra fly og satellitter. Langs med randen af Indlandsisen smelter isen hver sommer, og det er veldokumenteret, at arealet med smeltning øges.

Det er ligeledes veldokumenteret, at udløbsgletsjerne, som dræner Indlandsisen, er skrumpet markant i de senere år. Det gælder især de gletsjere, som løber ud i havet, hvor de kælver og danner isfjelde. For eksempel er en af de mest produktive gletsjere, Jakobshavn Isbræ i Vestgrønland, blevet omkring 12 km kortere. Denne gletsjer begyndte at smelte sig tilbage i 2002, hvor der skete et markant opbrud. I løbet af sommeren forsvandt 2–3 km af gletsjeren, og den markante tilbagetrækning fortsatte i flere år. I de seneste år ser det dog ud til, at tilbagetrækningen sker langsommere.



Sammenligning mellem temperaturudvikling og solstråling. Selv om solstrålingen er gået ned de senere årtier er temperaturen steget.

Kilder: Met Office Hadley Centre for Climate Change, UK og www.klimadebat.dk.



Kilde: Weidick og Bennike 2007.

Jakobshavn Isbræ er en af de mest produktive gletsjere i Grønland. Bræfronten har siden 2002 trukket sig ca. 12 km tilbage.

Endnu i år 2000 mente de fleste gletsjerforskere, at Indlandsisen i Grønland var nogenlunde i balance, det vil sige at den mængde sne, der falder på isen, svarer til den mængde sne og is, der forsvinder hvert år. Man regnede med, at nedbøren svarede til omkring 600 km³ is, og at der smeltede ca. 300 km³ is per år, samt at der dannedes ca. 300 km³ isfælde per år.

I dag er det klart, at Indlandsisen skrumper, men det er usikkert, hvor hurtigt det går. Men de vurderede tabsstørrelser stiger år for år, og de seneste tal siger omkring 200 km³ is per år. Det er rigtigt meget is, men sammenlignet med

Indlandsisens samlede rumfang er det ikke meget. Hvis vi foretager et simpelt regnestykke, hvor vi dividerer totalt rumfang med det årlige tab finder vi, at det vil være flere årtusinder før Indlandsisen er smeltet.

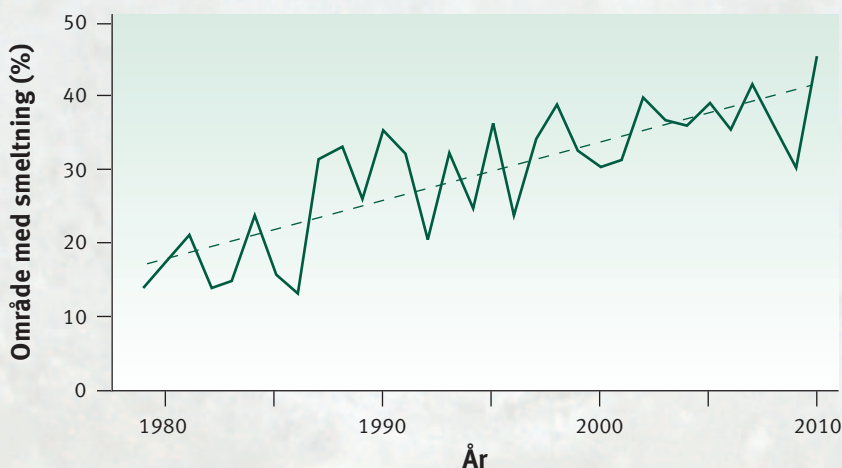
Imidlertid er det påfaldende, at vurderingen af det årlige tab stiger støt – i takt med den globale opvarmning. Endvidere gælder, at jo mere is der smelter, jo lavere bliver Indlandsisens overflade, og derved kommer overfladen til at befinde sig i et varmere og varmere klima. Man kan derfor forestille sig, at afsmeltningen kommer til at foregå hurtigere og hurtigere.

Hvis hele Indlandsisen i Grønland smelter, svarer det til, at verdenshavene stiger ca. 7 meter. Men som nævnt er det ikke noget der sker på kort tid – selv om temperaturerne fortsætter med at stige, vil det være meget lang tid, før Indlandsisen smelter helt væk. Hvis isen i Antarktis smelter, vil havniveauet stige omkring 60 meter.

ANTARKTIS

Isskjoldet i Antarktis rummer hen ved 10 gange så meget is som Indlandsisen i Grønland, og det er helt afgørende at finde ud af, hvordan isskjoldet udvikler sig. Der er flere forhold, der må tages i betragtning. Dels ser det ud til, at dele af regionen omkring Sydpolen bliver koldere, dels har det været foreslået, at isen skulle vokse, fordi nedbøren stiger, når det bliver varmere.

Først i de seneste år er der begyndt at komme vurderinger af, om isen skrumper. I dette kæmpemæssige område, der måler ca. 14 millioner km², eller knap 8 gange arealet af Indlandsisen, er data fra satellitter den eneste mulighed for at få pålidelige resultater. Data viser, at isen også i Antarktis er kommet på skrup. Og især gletsjerne på den Antarktiske Halvø, som strækker sig fra selve Antarktis mod Sydamerika, er skrumpet voldsomt i de sidste årtier.



I randområderne af Indlandsisen smelter isen. Det område, hvor der foregår smeltning, er vokset markant de senere årtier.

Kilde: Sebastian Mernild et al. 2011, Journal of Glaciology bind 57.

FLYDENDE GLETSJERE

En speciel type gletsjere er gletsjere som flyder på havet – de kaldes flydende gletsjere eller shelf is. I Antarktis findes der enorme flydende gletsjere, og også i Grønland findes der mange flydende gletsjere, som dog er langt mindre. I de senere år har flere af de store flydende gletsjere revet sig løs, hvilket har tiltrukket sig stor opmærksomhed. I februar 2002 løsrev en stor del af den flydende, antarktiske gletsjer med navnet Larsen B sig således, og dannede et gigantisk isbjerg på størrelse med Fyn.

Også i Grønland er der sket store tilbagetrækninger af de flydende gletsjere. For eksem-

pel forsvandt 350 km² af C.H. Ostenfeld Gletscher i Nordgrønland og 1400 km² af Zachariæ Isstrøm i Nordøstgrønland i tidsrummet mellem år 2000 og 2006.

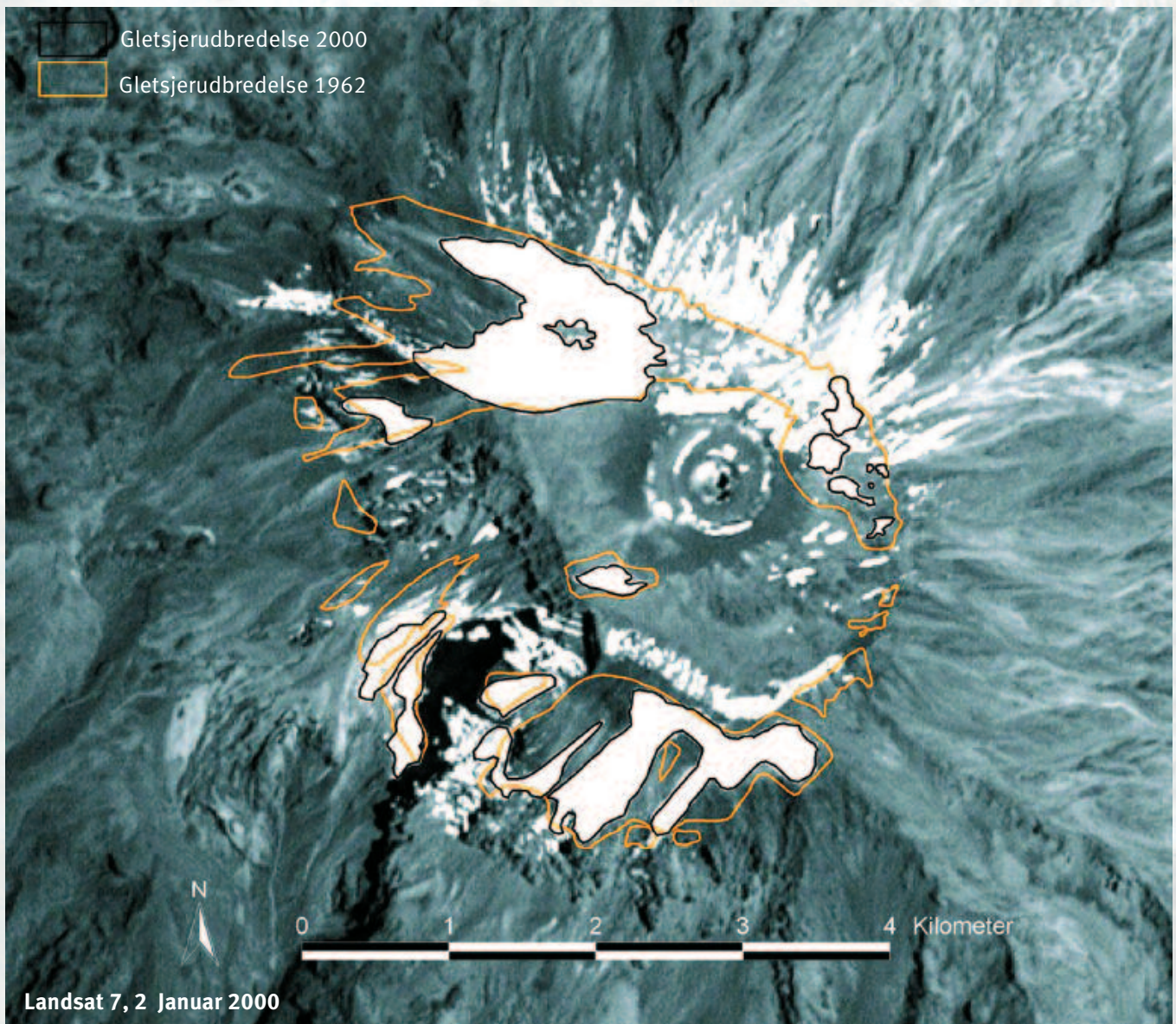
En af grundene til, at de flydende gletsjere er begyndt at rive sig løs og sejle bort er, at udbredelsen af havis bliver mindre og mindre, og den havis der er tilbage bliver tyndere og tyndere. Når havisen er borte, kan bølger og døninger begynde at påvirke de flydende gletsjere direkte, som derfor bliver mere ustabile.

En følge af at de flydende gletsjere forsvinder, kan være, at de gletsjere, som tidligere lå bagved de flydende gletsjere, begynder at flyde hurtigere. Det er næsten som om proppen

er blevet fjernet. Det er veldokumenteret, at mange gletsjere er begyndt at flyde hurtigere. Således flyder for eksempel Jakobshavn Isbræ, som tidligere er nævnt, i dag dobbelt så hurtigt som for 10 år siden. Der er dog flere forskellige mekanismer, der kan forklare stigningen i hastigheden. For eksempel kan man forestille sig, at der dannes mere og mere smeltevand, som gennem revner i isen finder vej ned til bunden af gletsjeren, hvor det virker som et smøremiddel.

ANDRE GLETSJERE PÅ JORDEN

Både i Grønland og Antarktis findes mange tusinder af gletsjere, som ikke er forbundet med



Kilimanjaro er Afrikas højeste bjerg. I de senere årtier er gletsjerne på bjerget skrumpet voldsomt.

isskjoldene – vi kalder dem ofte lokale gletsjere. Og desuden findes der tusinder af andre gletsjere i andre dele af verden. For næsten alle gletsjerne gælder, at de er skrumpet i de senere år.

Også i troperne findes der masser af gletsjere, ja selv i Afrika er der ganske mange gletsjere. Som tidligere nævnt er temperaturen kun steget lidt i troperne, men til gengæld er gletsjerne i troperne specielt følsomme over for temperaturstigninger. De lever så at sige nær eksistensgrænsen. Derfor er gletsjerne i troperne kendetegnet af hastig tilbagesmeltning. I Himalaya smelter gletsjerne tilbage med en gennemsnitlig hastighed på 10 til 15 meter om året. Og fortsætter afsmeltningen med samme hast i de kommende år som i de senere år, vil det ikke vare mange år før de sidste gletsjere i Afrika er helt borte.

HAVIS

Nogle af de mest dramatiske effekter af de stigende temperaturer ses i Polhavet, hvor udbredelsen af havisen er skrumpet voldsomt i de seneste årtier. Det er gået hurtigere end forudsagt af klimamodellerne, og det er en af de effekter af klimaændringerne, der volder størst bekymring. Ikke mindst fordi selvforstærkende mekanismer (feedback) er på spil.

Så længe havet er dækket af havis, bliver det meste af solens stråler reflekteret fra isens overflade – og derfor bliver det ved med at være koldt. Men hvis havisen forsvinder, er det kun en lille del af solens stråler, der bliver reflekteret, og derfor bliver det automatisk varmere og varmere, og dermed svinder havisen endnu mere.

Udbredelsen af havis i Polhavet er kun blevet overvåget detaljeret i en kortere årrække, men i

løbet af denne tid er der sket drastiske ændringer. I sommeren 2003 viste målinger fra satellitter, at havisen ud for Nordøstgrønland var næsten helt forsvundet. Selv sejlede jeg denne sommer til Nordøstgrønland fra Norge, og vi mødte næsten ingen havis – i et farvand hvor mange skibe tidligere har haft store problemer med havisen på samme årstid; ja mange skibe er tidligere forlist i isen.

I sensommeren 2007 var isen svundet så meget, at det for første gang var muligt at sejle nord om Nordamerika i almindelige skibe – via Nordvestpassagen. Det samme har gentaget sig flere gange senere.

I Antarktis er udbredelsen af havis gået lidt frem og lidt tilbage, uden nogen bestemt tendens.



Kilde: National Snow and Ice Data Center, Boulder, USA.

PERMAFROST

Enorme områder i Rusland, Canada, Alaska og Grønland er kendetegnede af permafrost. I forbindelse med opvarmningen er isen i jorden begyndt at smelte, og det betyder, at jorden bliver ustabil. Huse og træer kan vælte, og veje slå store revner.

I den frosne jord er der bundet store mængder kulstof, som bliver frigivet hvis permafrosten smelter. Afhængig af om jorden er vandmættet og iltfattig eller om den er tør og iltrig, omsættes det organiske materiale til henholdsvis metan og kuldioxid. Det kan blive et meget stort problem, hvis kulstoffet frigives som metan, fordi metan er en meget effektiv drivhusgas. Et stigende indhold af metan i atmosfæren kan øge den globale opvarmning af Jorden markant.

STIGER HAVNIVEAUET?

Som nævnt er mange gletsjere begyndt at smelte tilbage. Samtidig fører de stigende temperaturer til, at vandet i de overfladenære dele af havene bliver varmere – og dermed til at vandet udvider sig. Baseret på målinger fra satellitter ser det ud til, at det globale havniveau for tiden stiger omkring 3 mm per år, hvilket ikke kan betegnes som alarmerende. Tallet fra FN's klimapanelers seneste rapport fra 2007 er heller ikke alarmerende: 18–59 cm stigning frem til år 2100. Men nyere og mere realistiske prognoser giver tal mellem 1/2 og 1 1/2 m ved udgangen af det 21. århundrede, hvilket må give anledning til bekymring.

TILPASSER PLANTER OG DYR SIG TIL KLIMAÆNDRINGER?

En af de ting vi tydeligt kan se, når vi studerer fortiden, er at dyr og planter er langt mere mobile end man skulle tro. Under naturlige forhold tilpasser arterne sig nemlig ikke klimaændringer – de flytter sig. Hvis vi for eksempel ser på udviklingen i Danmark, så tog det forbløffende kort tid, før de arktiske dyr og planter forsvandt efter sidste istid, og mere varmekrævende arter indfandt sig. Allerede efter nogle årtier begyndte arter som birketræer og enebær at brede sig, og bævreasp og skovfyr fulgte hurtigt efter. Det betød, at de lyskrævende arktiske arter blev trængt tilbage og snart uddøde lokalt. Nogle arter kunne måske klare sig langs kysterne, og en art som dværgbirk, der kan vokse i fugtig bund,

kunne klare sig i moserne i måske nogle årtusinder. Også rensdyr klarede sig i omkring 1000 år før de bukkede under – vel mest fordi skovene blev tættere og tættere og dets foretrukne fødekilder forsvandt.

Mens rensdyr og mange andre dyrearter kunne udvandre fra Danmark og finde bedre græsgange mod nord, så kan en enkelt plante ikke vandre. Men planter er forsynet med mange forskellige muligheder for spredning. Mange frø og frugter er for eksempel tilpasset spredning med vind eller vand, og mange plantearter spredes med fugle eller pattedyr. Det kan være ved at frugterne hænger fast i pels eller fjer. Andre arter har frugter som spises af fugle, som fordøjer frugtkødet, mens selve frugten passerer uskadt gennem tarmsystemet, ja spireevnen kan endog stige ved sådan en passage. Det er forbløffende, så hurtigt selv fjerntliggende øer kan blive koloniseret af planter og dyr. Også Grønland blev koloniseret af mange arter kort efter sidste istids ophør. I takt med de stigende temperaturer kan vi forvente, at nye plante- og dyrearter vil dukke op i Grønland.

I de senere år er der sket ændringer i Danmark, som klart skyldes de stigende temperaturer. For eksempel er fisken multe i dag almindelig i Vadehavet og ses også jævnligt i de indre danske farvande. Multe er en sydlig art, som først for få år siden bredte sig til Danmark, hvor den nu er begyndt at yngle. Tilsvarende svømmer sardinen ikke længere kun rundt i Middelhavet, men kan nu også træffes i Østersøen. Omvendt har torsken i Nordsøen det svært. Torsk er en nordlig art, og sydgrænsen for dens udbredelsesområde ligger i vores områder. Der sker altså det, at både sydgrænserne og nordgrænserne for arternes udbredelse forskydes mod nord.

For visse arter, som i forvejen lever langt mod nord er dette et problem. De kan ganske enkelt ikke flytte længere nordpå. Det er altså især de højarktiske arter, det vil sige de arter som lever i de nordligste dele af Arktisk, som kommer under pres.

En anden gruppe, der får problemer, er de arter, som er knyttet til havis. Hvis havisen forsvinder, får de store problemer. Isbjørnen er blevet et symbol for denne gruppe arter, som også omfatter for eksempel grønlandshval, klapmyds, hvalros og kejserspingsviner i Ant-

arktis. Isbjørnen kan nok klare sig, så længe havisen ligger det meste af året, men hvis havisen helt forsvinder, kan isbjørne kun overleve i zoologiske haver.

HVAD MED BIO-BRÆNDSTOF?

Bio-brændstof har været fremhævet som en af løsningerne på klimaproblemet, men brugen af bio-brændstof er særdeles kontroversiel. Bio-brændstof fremstilles ved at afgrøde som majs, raps, sukkerrør, palmeolie eller andre plantestoffer omdannes til alkohol eller diesel, som kan hældes i biltanken. Store områder med regnskov er blevet ryddet for at give plads til plantager med oliepalmer, men det viser sig, at udslippet af kuldioxid ved rydningen af skoven langt overstiger den besparelse man opnår ved at spare på fossile brændstoffer. Desuden er tropisk regnskov en truet naturtype.

En anden effekt har været, at fødevarerpriserne er steget markant, fordi man anvender potentielle fødevarer til brændstof i stedet for til mad. Under alle omstændigheder virker det uhensigtsmæssigt at anvende afgrøder til brændstof i stedet for til mad. Endelig ser det ud til, at det er mere energi-økonomisk at anvende plantemateriale i kraftvarmeværker i stedet for at omdanne det til alkohol eller diesel. Af alle disse grunde er brugen af bio-brændstof under meget hård kritik.

HVAD KAN DER GØRES?

En af de ting, der er en vis politisk vilje til at gøre – i al fald i den vestlige verden – er at mindske udledningen af kuldioxid. Vi kan anvende mere vedvarende energi, ikke mindst fra sol og vind. En ulempe ved vindkraft er, at det jo ikke altid blæser, og at der ikke er brug for ret meget strøm om natten. Desværre er det meget vanskeligt at lagre strøm. Men måske kan der sættes gang i udviklingen af el-biler, hvis batterier kan lades op om natten, hvor der er overskud af strøm. Desuden er der et stort potentiale i geotermisk energi.

Vi har også mulighed for at lagre kuldioxid i undergrunden, men ulempen ved dette er, at det er en energikrævende proces, så vi skal anvende endnu mere energi. Atomkraft er naturligvis også kuldioxid neutral, men her er der fortsat store problemer med det radioaktive affald, ligesom erfaringer fra Ukraine og Japan viser, at der er problemer med sikkerheden på værkerne.



De grønne planter danner organisk stof ud fra vand og kuldioxid ved hjælp af energi fra solen. De fjerner således kuldioxid fra atmosfæren, men deres forbrug kan ikke holde trit med menneskets udledning af kuldioxid.

Fotos: Jakob Laurrup, GEUS.



Hvis planterne kunne udnytte den ekstra kuldioxid, kunne der måske også fjernes noget kuldioxid fra atmosfæren. I denne forbindelse skal det nævnes, at det har været foreslået at gøde oceanerne, hvilket kan sætte gang i algevæksten. Når algerne dør synker de til bunds med deres indhold af kuldioxid og bliver indlejret i dybhavets sedimenter.

HVAD BRINGER FREMTIDEN?

Først må det slås fast, at ingen ved, hvordan klimaet vil udvikle sig i fremtiden. Men når det er sagt, er det også vigtigt at fastslå, at alle klimamodeller forudsiger, at det bliver varmere i nær fremtid. Under alle omstændigheder kan

man sige, at menneskeheden har sat et globalt eksperiment i gang ved at hæve kuldioxid-indholdet i atmosfæren til et unormalt højt niveau.

Klimamodeller er den eneste seriøse måde at forsøge at spå om fremtidens klima på. Her anvendes kraftige supercomputere, som bliver fodret med store mængder data. Lignende modeller anvendes af meteorologerne til at lave vejrudsigter.

Modelfolkene forsøger så godt som muligt at beskrive alle de processer, der styrer klimaet. Der er naturligvis mange usikkerheder, ligesom modellerne kræver, at vi forudsiger for eksempel hvor meget menneskeskabt kuldioxid, vi sender ud i atmosfæren. Der er udvik-

let en hel række forskellige klimamodeller, og som sagt er der enighed om, at det bliver varmere og varmere. Det skyldes først og fremmest at koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren må forventes at fortsætte med at stige.

Når det bliver varmere og varmere får vi øget smeltning af is, og vi må derfor forvente et stigende havniveau. De fleste modeller når frem til nogle decimeter i løbet af det næste århundrede, men ifølge andre modeller er det mere realistisk med $\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{2}$ m. I Danmark kan vi vel klare sådan en stigning ved at bygge digerne højere, og ved andre mindre tilpasninger. Men i mange fattige lande vil en sådan stigning få katastrofale følger for masser af

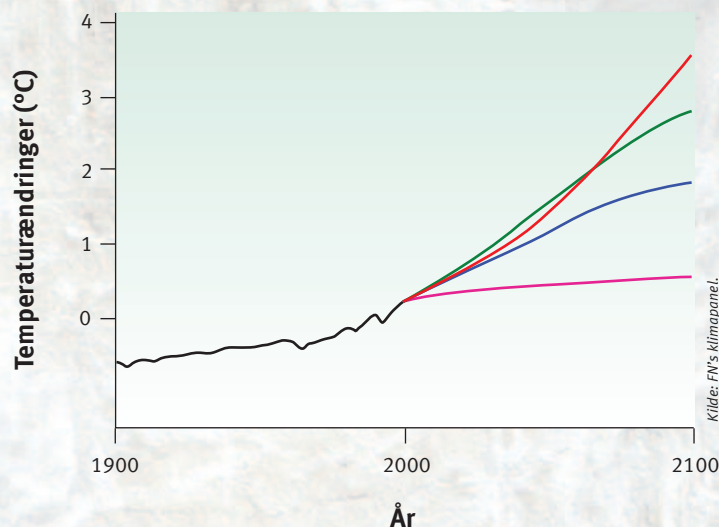
mennesker. Det gælder for eksempel for folk som lever på Stillehavsøer som kun lige netop stikker op over havet. Men det gælder også for store befolkningsgrupper, som bor i lavtliggende områder ved flodmundinger. Det skønnes at der i Jordens kystnære egne lever omkring 800 millioner mennesker, som vil blive berørt af havspejlsstigningen, og for eksempel i Bangladesh lever millionvis af fattige mennesker, som ikke har råd til at bygge diger.

En anden effekt af de stigende temperaturer er, at det bliver mere stormende. Især de tropiske orkaner må forventes at blive mere og mere kraftige, men også i mange andre dele af verden, herunder i Danmark, kan vi forvente flere og kraftigere storme. Måske bliver det på lidt længere sigt så slemt, at dele af det sydlige USA og Vestindien bliver ubeboelige. Orkanen Katrina, der førte til omfattende ødelæggelser i New Orleans, var måske bare en forsmag på hvad vi har i vente. I Danmark kan vi forvente flere og flere skybrud i takt med at det bliver varmere.

Et langt større problem ved de globale klimændringer er ifølge modellerne, at vi kan

vente udbredt tørke. Og det er ikke kun Afrika der kommer til at lide under tørke. Også store dele af for eksempel Sydeuropa kan forvente udbredt tørke, ja det er tvivlsomt om der kan drives landbrug i Sydeuropa i fremtiden. Spanien har i de senere år været ramt af den

værste tørke i mere end 70 år – en tørke, der meget vel kan kobles til klimaændringerne. Endnu værre er den igangværende tørke i det østlige Afrika, særligt i landene ved Afrikas Horn, der skønnes at være den værste tørke i mere end 60 år og som har katastrofale følger



Alle klimamodeller forudsiger, at det bliver varmere i fremtiden. Den lyserøde kurve viser temperaturudviklingen ved uændret kuldioxid koncentration. De andre kurver viser forskellige fremtidsscenarier, der siger noget om den fremtidige økonomiske vækst, befolkningsudvikling og fremvækst af nye teknologier.



Udgifter til skader efter oversvømmelser og storme stiger formentlig i fremtiden.

Foto: Jakob Laurup, GEUS.

Mange steder i Grønland smelter isen hastigt tilbage, og nogle steder som her i Liverpool Land i Østgrønland kommer hele planter til syne. Planterne er kantlyng og arktisk pil; de stammer fra en varmeperiode for ca. 1000 år siden, den såkaldte Middelaldervarme. Det var samtidig med at Erik den Røde slog sig ned i Sydgrønland.

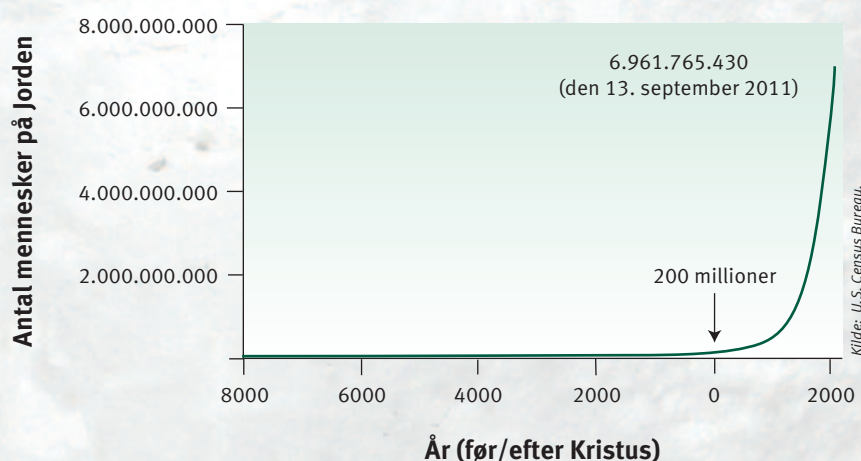
Fotos: Ole Bennike.





I fremtiden forventes udbredt tørke på Jorden, for eksempel i Afrika og Sydeuropa. På billedet ses køer, der er ofre for tørken i Eritrea.

Foto: Ole Mertz, IGG, KU.



Antallet af mennesker på Jorden stiger voldsomt.

for befolkningen. Med hensyn til vand og fødevarer er det stærkt bekymrende, at Jordens befolkning vokser med voldsom fart. Allerede den 31. oktober 2011 rundede befolkningstallet 7 milliarder, og omkring år 2050 forventes befolkningstallet at runde 10 milliarder. Hvis der samtidig kommer udbredt tørke kræver det

ikke megen fantasi at forestille sig, at store befolkningsgrupper kan blive drevet på flugt, fordi deres høst slår fejl.

Under alle omstændigheder kan befolkningstallet ikke fortsætte med at stige med samme fart, hvis alle skal kunne brødfødes og have adgang til tilstrækkelige vandressourcer

i fremtiden, og spørgsmålet er, om befolkningstilvæksten vil aftage langsomt, som vi har set det i dele af verden. Eller om udbredt hungersnød vil føre til fald i Jordens befolkningstal. Desværre er spørgsmålet om befolkningstilvæksten næsten usynligt på den politiske dagsorden.





Forfatteren Ole Bennike med boreflåde, på feltarbejde i Grønland.

Foto: Bernd Wagner, Köln Universitet.

GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geologisk Institut ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)



Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Holland, Lille Istid.

Maleri: Hendrick Avercamp ca. 1610.

Kilde: www.ibiblio.org/wm/paint/auth/avercamp/

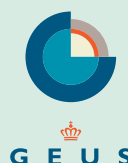
Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOGRAFI OG GEOLOGI

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: geo@geo.ku.dk

GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk



GEOLOGISK INSTITUT

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Århus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk



DANMARK

PP

Magasinpost UMM
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup