

Iskerner – en nøgle til jordens klimahistorie

Af lektor Katrine Krogh Andersen

Is og Klima, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Juli måned år 2006 blev i Danmark den varmeste måned i mange år, og også resten af Europa var ramt af hedeølge. Den slags nyheder er vi blevet vænnet til gennem de senere år, varmerekorder for Danmark, Europa eller hele kloden er blev slået i flere omgange. Om dette skyldes naturlige klimavariationer eller menneskets indflydelse kan vi endnu ikke sige med sikkerhed, men meget tyder på det sidste. Iskapperne på Grønland og Antarktis er væsentlige kilder til informationer om jordens klima tilbage i tiden, og dermed til en øget forståelse af mekanismerne bag klimaændringer. Sneen der hvert år falder på iskapperne smelter i de centrale områder ikke væk om sommeren, men omdannes under trykket fra den efterfølgende sne efterhånden til is. Iskapperne opbevarer derfor mange tusinde år gammel nedbør i velordnede lag. Iskerneboringer giver adgang til disse lag og dermed til analyser af både gammel luft og nedbør.

Iskapperne og det globale klima

I det *Internationale Polar År 2007-2008* vil forskere verden over sætte fokus på de polare områder. I stil med de tidligere polarår (som foregik i årene 1882-83, 1932-33, 1957-58) skal der foretages mange store og omfattende undersøgelser, som i høj grad kræver en international satsning. Derudover vil de mange samtidige undersøgelser give et fantastisk øjebliksbillede af de polare områder. Set i lyset af usikkerheden omkring jordens kommende klimaudvikling falder dette på et godt tidspunkt. De polare områder spiller en vigtig rolle for det globale klima, og klimaændringer viser betydeligt større udsving i de polare områder end tættere på ækvator. Dette skyldes blandt andet dannelsen af havis og kontinental is når det bliver koldere. Isen reflekterer indstrålingen fra solen og gør at det igen bliver koldere. På samme måde forstærkes opvarmning også i polarområderne.

I løbet af det 20. århundrede blev jorden $0,6^{\circ}\text{C}$ varmere, og vi ser nu at mange bjerggletchere rundt omkring på kloden er begyndt at smelte hurtigere end tidligere. Det er dog ikke velforstået hvilken indflydelse en sådan opvarmning har på de polare iskapper. Undersøgelser ved hjælp af satellitter og radarmålinger fra fly tyder på at den Grønlandske iskappe alt i alt er nogenlunde i massebalance, hvilket vil sige, at den mister ligeså meget masse ved smeltning og dannelse af isbjerge, som den modtager ved ny sne. Dette dækker dog over at iskappen vokser i midten og aftager i randzonerne. Det er fortsat meget uklart hvordan isens massebalance præcis vil udvikle sig, hvis temperaturen fortsat stiger. Det er ingen tvivl om at isen efterhånden vil smelte ved væsentligt højere temperaturer end vi har i dag, men indenfor hvilken tidsramme, og ved hvilken temperatur er svært at forudsige. Øgede temperaturer medfører i første omgang højere nedbør, og dermed en tilvækst på iskappen. På den anden side stiger afsmeltningen i randområderne også med højere temperaturer, og i det hele taget bliver det område hvorfra der sker afsmeltning større. Disse faktorer er nogenlunde velkendte og velforståede, men dertil kommer effekten af hvor hurtigt isen flyder på undergrunden, hvor hurtigt randgletchere bevæger sig og meget andet.

For virkelig at kunne forudsige isens reaktion på klimaændringer er man nødt til at kende til de ovennævnte faktorer, kortlægge undergrunden under isen, samt have en endnu bedre forståelse af gletcherisens dynamik end vi har idag. Dette er en meget omfattende opgave som der vil blive arbejdet ihærdigt på i de kommende år.



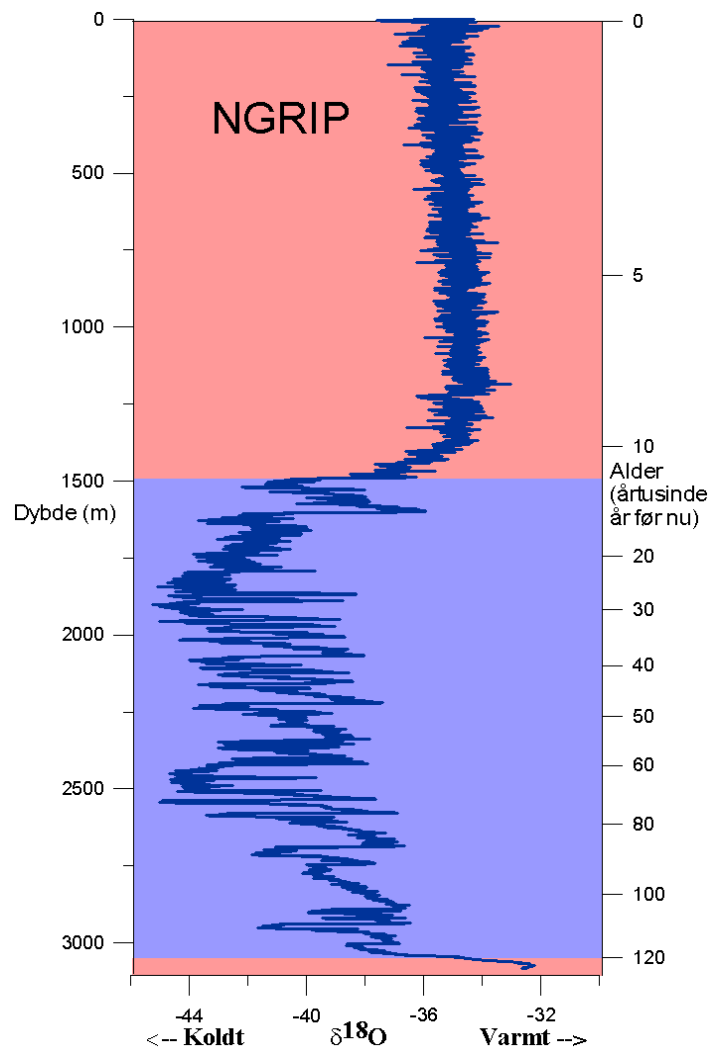
Figur 1: Isranden ved Kangerlussuaq. (Foto: Marie-Louise Siggaard-Andersen)

Hvorfor er det så vigtigt at forstå isens opførsel? Som nævnt ovenfor påvirker isen det globale klima, blandt andet ved i høj grad at reflektere sollys. Derudover vil smeltning af indlandsisen betyde, at en meget stor mængde ferskvand tilføres Nordatlanten. Det vand som i dag er bundet i den Grønlandske iskappe svarer til 6-7 m stigning i det globale havniveau! Sidst men ikke mindst ved vi at store mængder ferskvand i Nordatlanten vil påvirke den varmepumpe i havet der sørger for at fordele varmen fra lave til højere breddegrader, deriblandt til os i Nordeuropa.

Klimakurven fra de Grønlandske Iskerner

Ved at undersøge det klimasignal som er gemt i iskapperne opnås stor indsigt i udviklingen af jordens klima og iskappernes samspil med klimaet. Igennem de seneste 40 år er der blevet boret adskillige iskerner på Grønland og Antarktis, men også i mindre iskapper og bjerggletchere i Alaska, Canada, Island, Alperne, Himalaya, Kilimanjaro, Sydamerika og mange andre steder. Den Grønlandske Indlandsis er blevet dannet i løbet af de sidste 2-3 millioner år, men isens konstante flydning efterhånden som ny sne daler på toppen af isen og gammel is smelter væk eller danner isbjerge i randområderne gør, at den ældste is på Grønland næppe er mere end et par hundredetusinde år gammel. Fem iskerner er indtil videre blevet boret igennem den Grønlandske Indlandsis ned til undergrunden og den seneste af dem er NGRIP iskerneboringen, som blev afsluttet i år 2004. En klimakurve for de seneste 120.000 år fra denne iskerne er vist i figur 2. Kurven viser det relative indhold af iltisotoper i

iskernen, hvilket er et udtryk for temperaturen da sneen faldt. Toppen af figuren svarer til den yngste is på toppen af iskappen, og bunden til den ældste, nederste is.



Figur 2. Klimakurve fra NGRIP iskernen.

Af kurven fremgår det, at jordens klima bestemt ikke har været uændret over de seneste 120.000 år. Den øverste halvdel af kurven svarer til de øverste 1500 m is ved borestedet midt inde på Indlandsisen. Af den højre akse fremgår det samtidig, at dette er is fra de sidste godt 10.000 år. Dette er den varmeperiode vi lever i i dag, kaldet Holocæn. I de 100.000 forudgående år oplevede jorden en istid, hvor store iskapper dækkede en stor del af Skandinavien og Nordamerika og vandstanden i havene var op til 120 m lavere end i dag, idet vandet var bundet i de store iskapper. Disse 100.000 år fylder kun omtrent lige så meget i isen, som de seneste 10.000 år, hvilket skyldes, at isens egen vægt gør lagene tyndere og tyndere jo længere ned i isen man kommer. Den allernederste del af kurven svarer igen til højere temperaturer og et varmere klima. Dette er en varmeperiode, Eem, som lignede den nuværende Holocæn periode, men var et par grader varmere.



Figur 3. Borelejr på Flade Isblink iskappen i nordøst Grønland sommeren 2006. (Foto: Peter Langen)

Klimakurven fra sidste istid er præget af voldsomme, bratte klimaændringer, de såkaldte Dansgaard-Oeschger begivenheder. Disse pludselige klimaændringer blev først bemærket i de Grønlandske iskerner, og det er da også i det Nordatlantiske området, at effekten af dem var størst. I modsætning hvad vi kender fra den nuværende varmeperiode kunne det Nordatlantiske klima under istiden ændre sig meget pludseligt, hvilket sandsynligvis hænger sammen med ændringer i havcirkulationen, og dermed i den tidligere omtalte varmepumpe. Borekerner fra havbunden har vist, at en del af disse bratte skift skete samtidig med at store mængder isbjerge blev frigivet fra den Nordamerikanske iskappe og smeltede i Atlanterhavet. Klimaændringerne kan således meget vel have været koblet til de store mængder af ferskvand der blev frigivet. I de koldeste perioder af den sidste istid var den årlige middeltemperatur på Grønland omkring 25°C koldere end i dag, og iskernerne har vist at de hurtige svingninger svarer til opvarmninger på op til 15°C i løbet af nogle få årtier.

Årlagstællinger i NGRIP iskernen

NGRIP iskernen er en fantastisk kilde til viden om fortidens klimaændringer, også når vi gerne vide hvad der skete år for år og dermed øge vores forståelse af de involverede processer. Undervejs i boringen af NGRIP iskernen viste det sig, at undergrunden under borestedet frigiver lidt mere varme end de fleste andre steder på Grønland, hvilket er nok til at isen ikke er frosset fast på bunden, men smelter med en hastighed på omkring 1 cm om året. Af denne grund udtyndes lagene i isen ikke så kraftigt som andre steder, og de årlige lag igennem hele iskernen bliver ikke meget tyndere end 1 cm per år!



Figur 4. Is fra bunden af NGRIP iskernen. Isen er tæt på smeltepunktet i denne dybde, og kernen er meget krakeleret.

I de sidste fem år har en del af Is og Klima gruppen ved Niels Bohr Institutet arbejdet med at udnytte dette forhold til at identificere de enkelte årlag i isen tilbage til 60.000 år før nu, og tælle lagene, i stil med hvad man kan gøre med træringe indenfor de senest 15.000 år. En sådan aldersbestemmelse ved tælling af de enkelte årlag er af stor betydning for arbejdet med mange forskellige paleoklimatiske aflejringer.



Figur 5. Aflejringerne fra de enkelte snefald kan identificeres i sneen på overfladen.

Det er meget få aflejringer hvor man rent faktisk kan skelne de enkelte årlag, og de Grønlandske dybe iskerner er derudover enestående fordi hvert enkelt årlag er

velbevaret fra nutiden og mange tusinde år tilbage i tiden. I de fleste andre tilfælde hvor man finder meget gamle årlige aflejringer, for eksempel i et stykke velbevaret træ, vil det kun dække en kort tidsperiode, og det er ikke altid nemt at finde ud af hvor gammel en given sekvens præcis er. De fleste aflejringer fra sidste istid såsom søsedimenter og havbundskerner har dog ikke årlig opløsning.

Den meget nøjagtige datering, som er foretaget på de Grønlandske Iskerner kan derfor med fordel overføres til andre sedimenter ved forskellige metoder. De meget bratte klimaændringer er gode holdepunkter til at overføre aldersbestemmelsen fra en aflejring til en anden, hvis man kan identificere de samme forandringer i begge sedimenter. Dette indebærer dog den antagelse, at de klimatiske ændringer er foregået samtidig på begge steder, hvilket kan være rimeligt nok, men der kan også ligge vigtige informationer gemt i forløbet af klimaændringerne på forskellige steder. En anden og mere skudsikker metode til at overføre aldersbestemmelser fra én aflejring til en anden er at benytte sig af begivenheder som man med sikkerhed ved er samtidige, og måske endda kender en uafhængig nøjagtig aldersbestemmelse for. Et eksempel på dette er, at man i mange tilfælde har målt radioaktivitet i iskerneprøver fra det sidste århundrede. Man har derved kunne registrere aktivitet fra de atomprøvesprængninger som foregik i 1950'erne og 1960'erne, og derved kunne bestemme alderen for disse lag ved forholdsvis få og simple målinger. Længere nede i iskernerne er det typisk lag med højt syreindhold fra vulkanudbrud der kan benyttes i denne sammenhæng. Historiske kilder kan give nøjagtige aldre for en del af de vulkanudbrud, som findes i de Grønlandske iskerner indenfor de seneste 2000 år. Længere tilbage i tiden har vi stort set ingen historiske kilder der beretter om store vulkanudbrud, og de få vi har er ikke i sig selv veldaterede. Hvis man kan finde små askepartikler fra vulkanudbrud i isen har disse en geokemisk signatur, der ofte kan fortælle hvilken type vulkan og hvilket område partiklen stammer fra. Hvis tilsvarende askepartikler findes i andre aflejringer fra nogenlunde samme tidsrum kan man være ret sikker på, at partiklerne stammer fra samme udbrud og dermed er aflejret samtidig. Denne metode er meget lovende, og noget der arbejdes meget på i disse år, men arbejdet er meget tidskrævende, og det er indtil videre ganske få vulkanudbrud fra sidste istid som på denne måde med sikkerhed er blevet identificeret både i iskernerne og andre aflejringer.



Figur 6. Aflejringer i Island. Midt på billedet ses istidsaflejringer som sten og grus. De farvede bånd oven over er aske fra vulkan udbrud, som i mange tilfælde kan genfindes i de Grønlandske iskerner.

De varme mellemistider

Hvis vi vender tilbage til figur 2 kan man bemærke, at den øverste del af kurven fra den nuværende varme Holocæn periode virker meget bred og tilsyneladende viser mange forholdsvis store udsving. Dette skyldes dog ikke klimaændringer i stil med dem man finder under sidste istid. Det skyldes ganske enkelt, at de enkelte årlag fylder mere her end i den ældre is, og at de tilfældige variationer fra år til år er bevarede i isen. Dette er dels fordi der i de varme perioder falder dobbelt så meget nedbør hvert år, som under istiden, og dels fordi lagene i toppen ikke er udtyndede i samme grad som ved bunden. I Holocæn perioden er den nye Grønlandske iskernedatering baseret på data fra tre forskellige iskerner, Dye-3, GRIP, og NGRIP. Aftrykkene fra de mange Islandske vulkanudbrud er blevet benyttet til at overføre dateringen mellem de tre kerner med en nøjagtighed på nogle få år. Dermed kan man opnå en klimakurve som er fælles for alle tre kerner, og ikke er påvirket af mindre variationer i de enkelte kerner. Dette er vigtigt i Holocæn, hvor klimasvingningerne er meget mindre end under istiden. Den fælles klimakurve udviser da også kun få og forholdsvis små klimaændringer i forhold til de voldsomme begivenheder under sidste istid. De Grønlandske iskerner tyder altså på en fundamental forskel i klimaets stabilitet mellem Holocæn og den forudgående istid.

Den allernederste del af kurven i figur 2 stammer også fra en varmeperiode, Eem perioden. Desværre indeholder NGRIP iskernen ikke is fra hele Eem, men kun fra de sidste 5.000 år, hvor man kan se, at klimaet langsomt var på vej ind i istiden. Vi ved at Eem perioden varede ca. 15.000 år og var lidt varmere end vores nuværende varmeperiode, men det er endnu ikke lykkedes at få en troværdig klimaserie fra hele Eem fra en Grønlandsk iskerne. Is fra Eem perioden er indeholdt i alle de dybe

Grønlandske iskerner, men isen ligger så tæt ved bunden, at lagsekvensen er ødelagt i alle andre kerner end NGRIP. I NGRIP kernen er lagdelingen bevaret fordi isen smelter væk ved bunden, og ikke bliver deformeret ved i årtusinder at blive transporteret henover den ujævne undergrund. Målinger i stil med dem der har tilladt identifikationen af de enkelte årlag under istiden vil i de kommende år blive udført på den nederste del af NGRIP iskernen fra Eem perioden. Dette vil give et fantastisk indblik i klimaudviklingen i varmeperiodens afslutning og under overgangen til istiden. Denne overgang ser ud til at være forløbet forholdsvis langsomt og udramatisk indtil istiden var såvidt fremskreden, at den første Dansgaard-Oeschger begivenhed tog fat 115.000 år før nu. Eem perioden var varmere end i dag, men NGRIP kurven viser faktisk ikke et særlig stabilt varmt klima. Den allernederste del af kurven viser en lille opvarmning, og derefter begynder afkølingen hen mod istiden allerede. At Eem is er tilstede i alle iskernerne viser desuden, at Indlandsisen på trods af det varmere klima ikke var smeltet væk under Eem, der lå endog is på forholdsvis yderlige dele af den nuværende iskappe i syd og nordvest. På trods af de fantastiske resultater iskernerne har givet os fra sidste istid ved vi altså stadig ikke forfærdelig meget om Eem-tiden, som på nogle måder kan ses som en analog til et varmere klima under global opvarmning.

Et af de internationale forskningsprojekter, som har høj prioritet under det kommende polarår er boringen af en ny dybdekerne i Grønland. Denne kerne skal bores i nordvest Grønland i et område hvor radar målinger har vist, at undergrunden er ret flad, og der ikke ser ud til at være tegn på smeltning på bunden. Is fra hele Eem perioden forventes her at ligge så højt oppe i isen, at lagdelingen ikke er forstyrret, og en sådan ny iskerne kan forhåbentlig bidrage gevaldigt til vores viden om denne spændende klimaperiode.

Yderligere informationer kan findes på www.iskerner.dk