

Hans Tausen iskerne boreprojektet – specielt om datering af kernen

Mia Stampe, Kort- og Matrikelstyrelsen

Iskerneforskning er et fremragende redskab til klimaforskning, både når det gælder nyere tid som f.eks. forureningen af atmosfæren i den industrialiserede periode, og når det drejer sig om palæoklimatologi. Iskerner fra dybdeboringer på Grønland og Antarktis har beriget os med informationer om klimaet 2-300.000 år tilbage i tiden. Men også kortere iskerner fra bl.a. mindre iskapper og gletschere bidrager til vores samlede viden om klimaet og meteorologiske forhold. Denne artikel følger et mindre boreprojekt på Verdens nordligste iskappe, Hans Tausen (HT) Iskappen i Pearyland, Nordgrønland.

Borearbejdet

Klokken er 7.05, vækkeuret har lige ringet. Jeg vikler mig ud af soveposen og stikker den kolde næse udenfor teltet. Det fryser 10 grader og frisk, kølig fygesne rammer ansigtet. Jeg vågner helt!

En time efter er borearbejdet i gang. Dette er teamwork. Stykke for stykke bores en iskerne ud af iskappen. En iskerne, hvorpå der måles, markeres og registreres og som til slut pakkes omhyggeligt med henblik på transport til København og videre analyser og undersøgelser i laboratorier. Arbejdet afbrydes regelmæssigt af spisetider og uregelmæssigt af tekniske problemer ledsaget af en "Gl. Dansk tænkepause".

Pludselig er det langt over midnat, vi tvinger os selv i seng, selv om det er lyst. På 83 grader N bevæger solen sig på 24 timer bare rundt i et lille cirkel på himlen, hvis farve i øvrigt på få minutter kan skifte fra strålende blå til stormgrå og faretruende. Sådan passerer et typisk døgn med glaciologisk feltarbejde i 1.300 m højde midt på Hans Tausen Iskappen i det nordligste Grønland.

Hans Tausen Iskappen er en lille, lokal iskappe, der geografisk befinder sig på 82,5°N; 38°V i det vestlige Pearyland. Den dækker et plateau, med flere lokale højdemaxima op til mellem 1.200 og 1.300 m.o.h., og den strækker sig ca. 75 km fra nord til syd og 50 km fra øst til vest. Langs den østlige, nordlige og vestlige rand drænes iskappen af flere større gletschere, hvoraf nogle udmunder i en fjord med en kælvende front. Den sydlige grænse vender ind mod Indlandsisen og domineres af fygesne, som ofte overlever somersmeltingen [1].

Glaciologi, specielt iskerneforskning

Glaciologi - læren om is og sne - er i dag ikke så ukendt et begreb i Danmark som for bare 10 år siden. Det skyldes især en lang række populærvide-

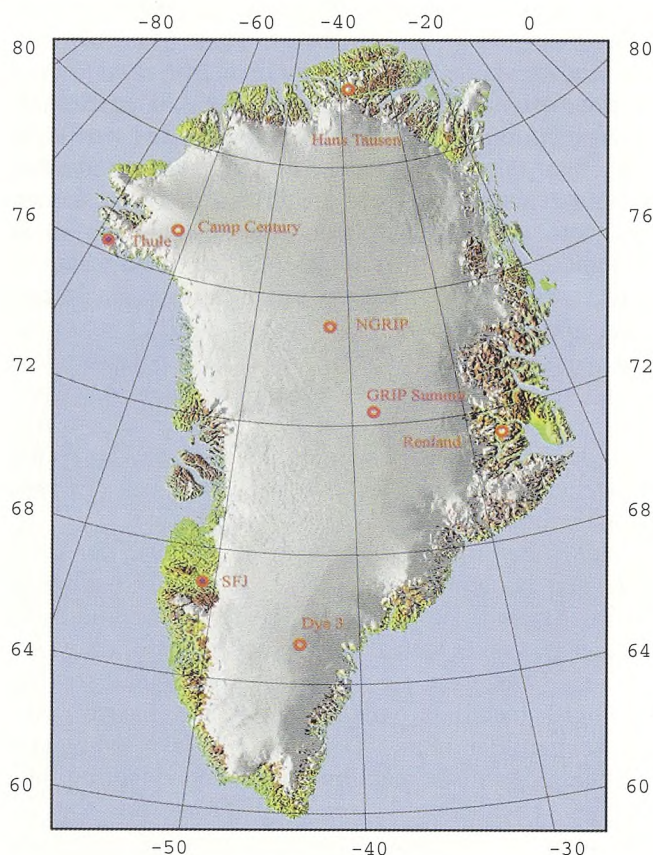
denskabelige artikler om de store dansk/internationale boreprojekter på Grønland gennem de senere år (se Figur 1). Men videnskaben glaciologi dækker et meget bredt område. Udover iskerneforskningen, som er en relativ ny disciplin, kun ca. 30 år gammel, rækker forskningsfeltet fra massebalanceundersøgelser og gletscher-fysik (klassisk glaciologi) over glacial-morfologi (landskabets nutidige udformning som følge af tidligere isdække), periglaciologi (forskning i de ikke-snedækkede områder med permafrost) til krystalstudier af is og sne, både som meteorologisk og fysisk fænomen. På alle områder spiller modellering og andet teoretisk arbejde ligeså stor rolle som det praktiske felt- og laboratoriearbejde.

Ideen bag iskerneboringer er, at alt, hvad der kommer ned fra atmosfæren, evt. indfanget af nedbøren, bliver liggende på sneens overflade, med mindre det blæser af, vaskes væk af smeltevand eller fjernes på anden vis. Det være sig vindblæst kontinentalt støv og biologisk materiale, vulkansk materiale, havsalt, kosmiske partikler m.m. Den konstant lave temperatur forhindrer kemiske reaktioner, intet forsvinder og intet tilføres. Urenhederne i isen forbliver uberørte som indikatorer for datidens atmosfæres kemiske og fysiske forhold. Teoretisk set ændres årlagenes sammensætning kun ved nedbrydning af radioaktive urenheder og ved diffusionsprocesser, men især under firnifikationen (den langsomme proces, hvor sne presses sammen til is) har diffusion stor indflydelse på, hvordan opløsningen af de forskellige komponenter er bevaret i den underliggende is. I praksis vil ujævne bundforhold også kunne lave forstyrrelser i lagdelingen tæt ved bunden (se Figur 1 side 26).

Generelt vil de stadige snepålejringer opbygge en kronologisk lagdeling, således at man i en kerne, ud-boret i en gletscher eller iskappe, kan lave kontinuerte tidsserier på baggrund af forskellige kemiske og fysiske parametre. Iskappen er som en tyk bog, fyldt med informationer om atmosfæren og klimaet, og hvor den ældste information er gemt på sidste side. Læst fra top til bund får vi en lang, detaljeret klimahistorie.

Der findes mange analyser (som jeg ikke skal komme nærmere ind på her), iskernen kan underkastes, allervigtigst er dog først at få dateret kernen. Det giver ingen mening f.eks. at vide, at isen i 150 m dybde bærer præg af, at klimaet var varmere, hvis man ikke kender alderen af isen. Datering er alfa og omega! Eftersom mange fysiske og kemiske parametre udviser en sæsonvariation, er det muligt ved måling af disse at "tælle" årlagene ned gennem kernen. Den oftest anvendte para-

meter er forholdet mellem iltisotoperne ^{18}O og ^{16}O , som afspejler temperaturen i atmosfæren, på det tidspunkt sneen blev dannet[2].



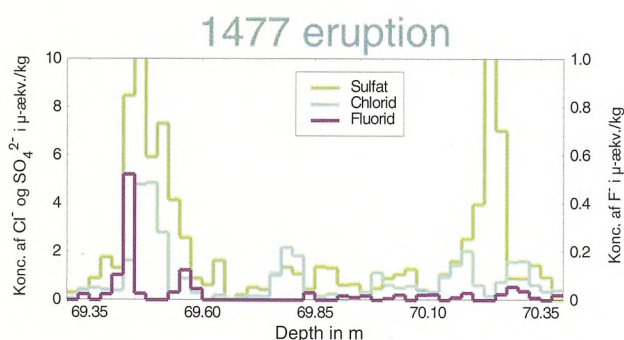
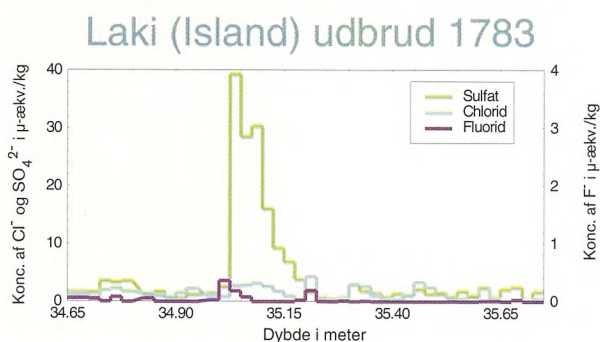
Figur 1. De vigtigste borer med dansk deltagelse på Grønland. Borestedet NORTH GRIP, der er markeret med "NGRIP", er omtalt i Claus Uffe Hammers artikel side 26. Denne artikel handler om boreren ved Hans Tausen iskap-pen.

I HT kernen kan man imidlertid ikke via sæson-svingninger i isotopforholdet tælle sig tilbage, da disse svingninger, pga. lav årlig nedbør, er udvaskede pga. diffusion. Derfor må man forsøge at datere på anden vis, f.eks. ved identifikation af sure islag forårsaget af kendte vulkanudbrud. Disse kan give nogle fixpunkter, således at området kan tilpasses med en computer-model. Med dette formål for øje udvælges til analyse en række sektioner af HT kernen, der indeholder særligt sure lag. Stykkerne er alle fra de øverste 150 m (og dermed øvre halvdel) af iskappen.

Hvordan ses et vulkanudbrud i isen?

Ud over aske udspys ved et udbrud store mængder gasser, især svovldioxid (SO_2), tildels saltsyre (HCl) og - i ganske lille omfang - flussyre (HF) til atmosfæren, hvorfra de senere udvaskes som sur regn eller sne. På iskappen bevares syren i isen, og vi kan måle den ved

en metode kaldet Electric Conductivity Measurement (ECM)[3]. Denne går i princippet ud på at føre to højspændings-elektroder ned langs en rensed flade på iskernen (se Figur 5). Da et surt lag har højere ledningsevne, fås et kraftigt udslag i ECM kurven. Ved at sammenligne med andre allerede daterede iskerners ECM-kurve får vi en ide om, hvilket udbrud, det kunne dreje sig om. En kemisk analyse bidrager yderligere til identifikationen, idet nogle udbrud er karakteristiske ved deres indhold af kemiske komponenter og disses relative forhold. Det vulkanske signals bredde indeholder ligeledes information. Fjerntliggende udbrud kan kun ses, hvis de er så kraftige, at materialet transporteres helt op i stratosfæren, hvorfra det vil udvaskes over et længere tidsrum og dermed føre til et bredt signal i modsætning til f.eks. mange islandske udbrud, som kemisk fremstår smalle og skarpe. Et eksempel er vist i Figur 2, hvor den islandske vulkan Lakis udbrud i år 1783 AD træder tydeligt frem med en stor og skarp SO_4^{2-} top. Endelig ved vi, at de fleste af de signaler, vi ser, stammer fra udbrud på den nordlige hemisfære pga. de to hemisfæres relativt isolerede vindsystemer.



Figur 2. I 35 m dybde ses dette sulfatsignal, der stammer fra et meget svovlsur nedbør, som den Islandske vulkan Lakis udbrud i år 1783 AD gav anledning til. Som i alle andre kerner fra Grønland optræder dette udbrud som det kraftigste af alle. Det andet signal fra 69,4 m dybde ses også i alle grønlandske iskerner er her dateret til år 1477 AD. Den specifikke vulkan er ikke kendt, skønt den – pga. sit høje indhold af HCl og HF – formodes at befinde sig i relativ nærhed. Signalet i 70,25 m dybde er ikke identificeret i andre iskerner.



Figur 3. Boremester Sigfus Johnsen trækker iskernen ud af boret.

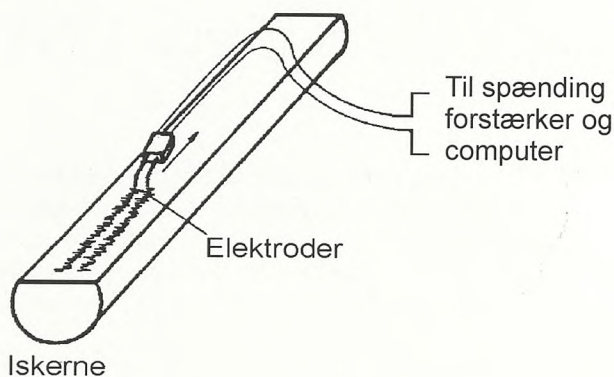


Figur 4. Forfatteren renser et stykke iskerne til kemisk analyse. Arbejdet foregår i en laminarbænk.

Hvis vi var i den situation, at vi allerede havde en datering for iskernen, ville vi kunne tidsfæste vulkanske udbrud, som man ellers ikke har nogen skriftlige historiske vidnesbyrd om. Eksempelvis bidrog studiet af den ca. 2.000 m lange kerne fra Dye 3 borestedet i Sydgrønland til at datere Elgja's udbrud på Island i år 934 AD [4].

Den kemiske analyse

Koncentrationen af kemiske urenheder i isen er meget lav – i størrelsesordenen ppb, dvs. 10^{-9} gram pr gram is! Derfor må arbejdet med og analysen af isen foregå under særligt rene forhold for ikke at kontaminere prøverne, og specielle teknikker må anvendes for at måle de lave koncentrationer præcist. Hertil er ionkromatografi en god metode. Det grundlæggende princip er skitseret i figuren på bladets bagside: Ca. 5 ml smeltet isprøve ledes gennem en kolonne – en ionbytter – der er fyldt med et aktivt stof, som binder enten anioner eller kationer. Herefter ledes en eluent (udvaskningsvæske) igennem, der løsner de enkelte ioner igen. Da de forskellige ioner har forskellige bindingsenergier, slipper de ikke alle lige nemt, men forlader kolonnen i "pakker" efter et tidsrum, der er karakteristisk for netop det pågældende stof. Koncentrationen af stofferne beregnes ved sammenligning med kendte kalibreringsprøver.



Figur 5. Måling af ledningsevne (ECM).

De kemiske stoffer, der måles, inkluderer bl.a. anionerne flourid (F^-), methylsulfon-syre (MSA), chlorid (Cl^-), nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) og kationerne natrium (Na^+), ammonium (NH_4^+), kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}) og calcium (Ca^{2+}). Ionerne Mg^{2+} og Ca^{2+} har hovedsagelig kontinental oprindelse, mens Na^+ , Cl^- og en del SO_4^{2-} stammer fra havet (salt) ligesom MSA, der kommer af di-methylsulfid (DMS), produceret af havalger. Da Na^+ , Cl^- og SO_4^{2-} indgår med et fast blandingsforhold i havsalt kan det ikke-marine Cl^- (fra saltsyre) og SO_4^{2-} (fra svovlsyre) bidrag beregnes. Sammen med F^- (fra flussyre) er det netop disse komponenter, som er aktuelle i vulkansk øjemed.

Bestemmelsen af udbruddene og dermed datering

Til identifikation af de vulkanske udbrud bidrager altså:

- * den samlede mængde syre,
- * forholdet mellem de enkelte syrer,
- * bredden af signalet,
- * kendskab til gennemsnitlig årlig nedbør,
- * vulkanske serier i andre iskerner.

Ved gennemarbejdning af alle til rådighed værende oplysninger fremkommer efterhånden en tidsfæstelse af de enkelte udbrud, og de dertil hørende dybder dateres. Tidsperioden af de udvalgte iskerne sektioner spænder fra år 1912 og tilbage til år 934. Disse fixpunkter er nu til rådighed i en model for iskappens udvikling. Forskellige modeller, supplerende analyser og betragtninger [5-7] daterer forsigtigt bundisen i Hans Tausen kernen til ca. 4-6.000 år. Dvs. en relativ ung iskappe, der ikke er i ligevægt, men som stadig vokser. Den er med andre ord opbygget efter Istidens afslutning, altså i vores nuværende (interglaciale) varmeperiode. Forskere er dog enige om, at der også har eksisteret en iskappe på stedet under den sidste istid, men at den er smeltet væk under det klimatiske optimum (ca. år 7000-3000 BC), hvor klimaet menes at have været ca. 2 grader varmere end i dag, for så at opbygges igen bl.a. som følge af den generelle afkøling og også pga. landhævning.

Udover kemiske analyser foretages også målinger af mængden af uopløselige partikler (støv) i de smeltede isprøver. Dette gøres med en såkaldt Coulter Counter – et instrument, som er i stand til både at tælle og størrelsesbestemme partiklerne. Den målte variation i støvkonzentrationen er uafhængig af vulkanske udbrud. Egentlige vulkanske askepartikler ses ikke i iskernen, de er enten for store og tunge eller for få til at skille sig ud fra baggrundskonzentrationen. Men overordnet set bidrager støvkonzentrationen og støvets sammensætning – ligesom alle de kemiske komponenter – til vores samlede viden om de lokale meteorologiske forhold og kilder.

Referencer:

- [1] N. Reeh (editor) (1996), Report on activities and results 1993-1995 for Hans Tausen Ice Cap Project - Glacier and Climate Change Research, North Greenland. Report from Danish Polar Center/Geological Survey of Denmark and Greenland.
- [2] W. Dansgaard (1954) The ^{18}O -abundance in fresh water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, bind 6, side 241-260.
- [3] C. U. Hammer (1980) Acidity of polar ice cores in relation to absolute dating, past volcanism and radio-echoes. *Journal of Glaciology*, bind 25, side 359-372.

- [4] C. U. Hammer (1984) Traces of Icelandic Eruptions in the Greenland Ice Sheet, *Jökull*, nr. 34, side 51-65.
- [5] Karen Nørgaard Madsen (1997), Hans Tausen Iskernen - studier af krystalstruktur, datering og smeltelagsstratigrafi, Speciale, Københavns Universitet
- [6] C.U. Hammer og Henrik Højmark Thomsen (1998) Final report for Hans Tausen Iskappe Project. Glacier and Climate Change Research, North Greenland 1993-1997, Nordic Environmental Research Program 1993-1997.
- [7] Henrik Højmark Thomsen, Dorthe Dahl Jensen, Niels Reeh m.fl. Refererer til et fælles arbejds møde om Hans Tausen Ice Cap Project på GEUS 13.-14. november 1997. En række abstracts herfra foreligger og vil senere blive trykt i et særnummer af Meddelelser om Grønland.

To gode og lettilgængelige artikler er:

W. Dansgaard og J. P. Steffensen (1992) Indlandsisen gennemboret, *Naturens Verden*, nr. 10, side 361-370.

C. U. Hammer, H. B. Clausen, W. Dansgaard, N. Gundestrup, S. J. Johnsen og N. Reeh (1978) Dating of Greenland ice cores by flow models, isotopes, volcanic debris, and continental dust, *Journal of Geophysical Research*, bind 20, nr. 82.

En af de allerbedste bøger om gletschere og iskapper er:

W. S. B. Paterson (1994) *The physics of Glaciers* (3rd edition), Pergamon, Elsevier Science Ltd., Oxford, England.



Mia Stampe blev kandidat i geofysik med speciale i glaciologi i 1997. Har siden arbejdet en tid som forskningsassistent på NBIfAFG for den glaciologiske gruppe og er p.t. ansat på Kort- og Matrikelstyrelsen.

Læs om naturens lysfænomener, nobelpriserne 1998 og dommedagen i næste nummer:

Lysfænomener i naturen

Næste nummer af *Kvant* udkommer ca. 15. december og bringer bl.a. artikler om lysfænomener i naturen: Lars Lindberg Christensen, Anne Værnholt Olsen og Mike van der Poel skriver om brydningsfænomener i Jordens atmosfære, Allan Bro Hansen skriver om regnbuens fysik og Henrik Leth fortæller om lyn og torden.

Nobelpriserne i fysik og kemi 1998

Årets nobelpriser er uddelt og bliver overrakt samtidig med at næste nummer af *Kvant* udkommer. Derfor har *Kvant* bedt Per Hedegård, Poul Erik Lindelof og Henrik Smith om at skrive om fysikprisen 1998, mens Aage E. Hansen vil skrive om nobelprisen i kemi. Interesserede læsere kan i ventetiden finde juli-nummeret af *Kvant* fra

1994 (nr. 2), hvor Per Hedegård skrev om fysikken bag årets nobelpris i artiklen "Fermioner, bosoner, anyoner og kvante Hall effekten". Per's artikel slutter med sætningen "Med lad os snakkes ved om 5 år..." - det bliver således i næste nummer af *Kvant*!

Er dommedagen nær?

Der har altid været fanatikere, som har ment, at dommedag var nær, og for en del år siden kom nogle naturvidenskabelige forskere til nøjagtig samme konklusion. Ikke ved at påvise muligheden af en altomfattende naturkatastrofe, men blot ud fra en vurdering af det totale antal mennesker, der indtil nu har levet her på Jorden. I næste nummer af *Kvant* diskuterer Thomas Døssing, Benny Lautrup og Andrew Jackson om dommedagen er nær.