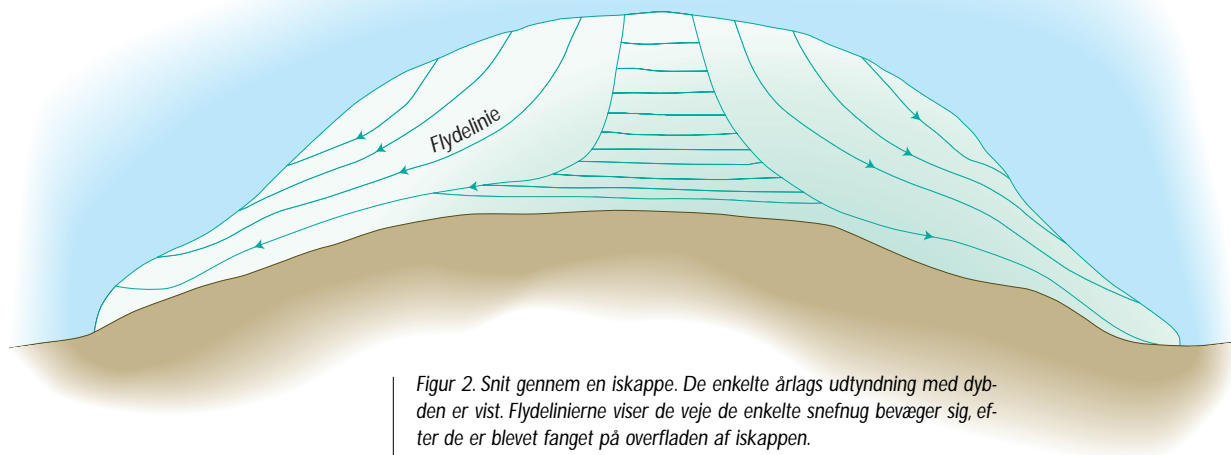


TEMANUMMER  
Iskappen der forsvandt  
og genopstod





Figur 2. Snit gennem en iskappe. De enkelte årlags udtyndning med dybden er vist. Flydelinierne viser de veje de enkelte snefnug bevæger sig, efter de er blevet fanget på overfladen af iskappen.

Arktis er kostbare. Iskapperne ligger ofte fjernt fra beboede områder. Det betyder, at et sådan forskningsprojekt har store omkostninger til transport, opbygning af lejr og lignende, og det er derfor meget dyrere end projekter, som kan udføres i laboratoriet eller tæt på beboede områder.

NMR's program muliggjorde et sådant middelstort glaciologisk projekt. Men for at projektet kunne gennemføres var det også nødvendigt, at man kunne finde støtte fra de enkelte deltager lande.

### Hans Tausen Iskappe projektet

I 1992 blev der givet grønt lys for det glaciologiske projekt på Hans Tausen Iskappe. I projektet deltog forskere fra Danmark, Island, Norge og Sverige. Feltundersøgelserne blev foretaget fra 1993-1995.

Den største feltaktivitet omfattede en iskerneboring til bunden af iskappen med

det formål at hente oplysninger frem om klimaet og iskappens tidlige historie. Indledende radaropmålinger i 1993 af isens overflade og landskabet under isen, viste, at det bedste sted at bore var på den sydlige del af iskappen, hvor isoverfladen lokalt hvælver sig op i en højde på over 1300 meter over havet (figur 1). I 1995 lykkedes det at udbore en 345 meter lang iskerne fri helt til bunden af iskappen. Desuden blev isens bevægelse og tykkelse målt op i området, for bl.a. at få mulighed for at bedømme iskappens "sundhedstilstand".

Men der er også foretaget glaciologiske undersøgelser i den nordøstlige del af Hans Tausen Iskappen. Her flyder isen ned til kun omkring 100 meter over havets overflade gennem en stor gletschertunge, der starter sin rejse fra en lokal ishvælving, der kulminerer i en højde over 1300 meter over havet. Undersøgelserne af dette gletscherbassin omfatter målinger af sne-

pålejringen, afsmeltningen og klimaet, med det formål at opstille en model for iskappens nuværende balance med klimaet. Desuden er der foretaget opmålinger af isens tykkelse med radar og borer til bunden af isen for at måle isens temperatur.

Og nord for iskappen er der foretaget geologiske undersøgelser for at belyse iskappens historie helt tilbage til sidste istid. Her er det landskaberne, der kan fortælle om isens tidligere udbredelse.

### Hans Tausen Iskappe

Hans Tausen Iskappe hviler på et 1000 meter højt plateau, der dominerer landskabet i Peary Land i Nordgrønland. Iskappen, der er lidt større end Fyn, måler omkring 75 kilometer fra nord til syd og 50 kilometer fra øst til vest (figur 1). Iskappens centrale dele når flere steder op i højder på 1200-1300 meter over havets overflade. Mod



Claus Uffe Hammer er professor i glaciologi på Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (NBI) og har siden 1969 arbejdet med iskerneanalyser fra Indlandsisen og Antarktis. Han har deltaget i iskerneboringerne GISP 1, EUROCORE, GRIP og nu NORTH GRIP i Grønland. Glaciologigruppen på NBI deltager også i det europæiske EPICA dybdeboringsprojekt i Østantarktis.



Seniorglaciolog Henrik Højmark Thomsen har siden sin ansættelse ved GEUS i 1982 arbejdet med udforskningen af Indlandsisen i Grønland i forbindelse med vandkraftplanlægning og isens samspil med det globale klima. Sideløbende med arbejdet i Grønland har han deltaget i videnskabelige undersøgelser i Antarktis for Norsk Polarinstitut og har lejlighedsvis fungeret som underviser ved Københavns Universitet. Ved GEUS arbejder Henrik Højmark Thomsen i afdelingen for hydrologi og glaciologi.




vest, nord og øst skyder der sig store gletschertunger fra iskappen ned i dalene omkring den. Nogle af gletschertungerne skyder sig helt ned til havets overflade, hvor de brækker af som isbjerge. Isen er omkring 300 meter tyk over den sydlige

del af iskappen. Landskabet under isen er her jævnt med undtagelse af en stor dal, hvor istykkelsen når op på 600 meter. Mod nord er landskabet under isen mere bjergrigt, og her varierer istykkelsen mellem 100 til 450 meter. Nedbøren på Hans Tau-

sen Iskappe er relativ lav, men den varierer meget fra sted til sted. I de bjergrige nordlige dele af iskappen er nedbøren omkring 25-35 cm om året, men den falder til omkring 10-13 cm i de sydlige dele af iskappen, hvor iskernen er blevet udboret.

### Sådan virker en iskappe

En iskappe næres af sne, der hvert år falder på dens centrale højtliggende dele. Dette område er så koldt, at sneen bliver liggende fra år til år (figur 2). Sneen bliver efterhånden sammenpresset til is under vægten af de følgende års snefald. Under tyngdekraftens indflydelse begynder isen at flyde plastisk. Herved strækker de enkelte årlag sig og bliver tyndere, mens de langsomt synker ned i iskappen. Isen flyder langsomt fremover og nedefter, indtil den til sidst når frem til iskappens rand. Her dukker isen igen frem i dagens lys, ofte på overfladen af gletschertunger, der skyder sig ned gennem dybe dale. Her er sommertemperaturen så høj, at både vintersneen og en del af isen smelter væk hver sommer. Andre steder, hvor iskanten når frem til havets overflade brækker isen af som isbjerge. Hvis den mængde sne, der falder på iskappen, er lige så stor som tabet fra afsmeltningen og isbjerge der brækker af, så siges isregnskabet at være i balance. En iskappe i balance ændre ikke form eller størrelse. Hvis isregnskabet ikke er i balance, vil isflydningen ændre sig på sådan en måde, at iskappen ændre størrelse. Den vil enten vokse eller skrump alt efter om snepålejringen er større eller mindre end tabet. Da is flyder meget langsomt kan denne proces tage mange år.

Årlagene i bunden af en iskappe er almindeligvis meget tyndere end i toppen, og det er ved bunden af isen, man finder de ældste lag, der kan stamme helt fra den tid, da iskappen blev skabt. På toppen af iskappen er der kun ringe horisontal bevægelse (figur 2). Derfor er det bedst at bore iskerner her, da isen ideelt set falder på borestedet og ikke er bragt ind fra et andet sted med isens flydning. 

*Afsmeltning ved iskappens kant.*



# Glaciologernes arbejde

Det kræver grundige forberedelser, at udføre glaciologiske undersøgelser på fjerntliggende iskapper i Arktis. Der er langt til naboen her. Store mængder videnskabeligt udstyr, proviant, brændstof og lejrudstyr skal transporteres ud i ødemarken. Og alt skal huskes hjemmefra. Et vigtigt stykke værktøj, der er glemt derhjemme, kan være forskellen på succes eller fiasko. Det er nødvendigt at bruge fly eller helikoptere for at få udstyret bragt på plads på iskappen.

I 1994 blev mange tons udstyr, til Hans Tausen projektet, fløjet til Station Nord, der ligger helt isoleret på det nordøstligste hjørne af Grønland (figur 1). Transporten til Station Nord foregik med flyvevåbenets store C-130 Hercules fly, der på dette nordlige sted må lande på en grusbane (figur 3). Men der er stadig omkring 350 km uvejsomt fjeldterræn mellem Station Nord og Hans Tausen Iskappe. På denne strækning blev udstyret transporteret med et mindre propelfly, der var udstyret med ski, så det kunne lande på de højere flade dele af Hans Tausen Iskappe (figur 4). Der er således meget arbejde forbundet med blot at flytte glaciologer og deres udstyr i stilling. Og først når det er sket, kan undersøgelserne af isen begynde.

## Iskappen måles op

Som en forberedelse til projektet blev der i 1993 foretaget en omfattende opmåling af iskappens overflade og bunden under isen, for at finde det bedste sted for boring af iskernen. Det er vigtigt, at lagfølgen i isen er så uforstyrret som overhovedet mulig. Efter opmålinger af isens overflade og tykkelse blev borestedet på den sydlige del af iskappen udvalgt (figur 1). Her er isbevægelsen hovedsagelig nedadrettet og landskabet under isen er jævnt. Målingerne blev foretaget med radar fra et fly, der også var udstyret med et meget nøjagtigt satellitnavigationssystem.

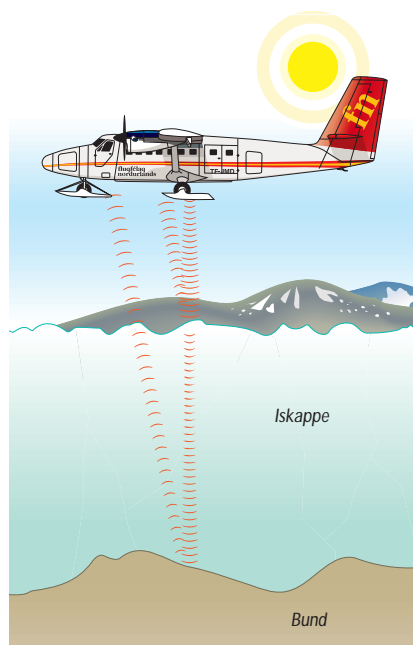
Målingerne foregår i praksis ved, at man udsender radarsignaler ned mod isoverfladen fra en antenne og opsamler de signaler, der kastes tilbage til antennen. Noget af signalet kastes tilbage fra isoverfladen, men en del af signalet trænger ned gennem isen



Figur 3. Et stort Hercules transportfly er landet på Station Nord med udstyr til Hans Tausen projektet.



Figur 4. Et mindre propelfly med ski blev brugt til landing på Hans Tausen Iskappe.



og kastes først tilbage fra klipperne under isen (figur 5). Ved at måle hvor lang tid det tager for signalet at vende tilbage til antennen, kan man kortlægge isens overflade og bund.

I 1994 og 1995 blev der foretaget mere detaljerede målinger af isen tykkelse med radar. Målingerne blev foretaget fra isoverfladen. Radar instrumentet blev her monteret i en kasse på en slæde trukket af en snescooter, og radar antennerne blev indbygget i to små kasser med meder, der trækkes hen over isoverfladen (figur 6).

Figur 5. Princippet i radarmålinger af isens overflade og bund, se teksten for forklaring.





Figur 6. Radarmålinger på overfladen af Hans Tausen Iskappe. Antennerne er monteret i de små gule kasser med meder.

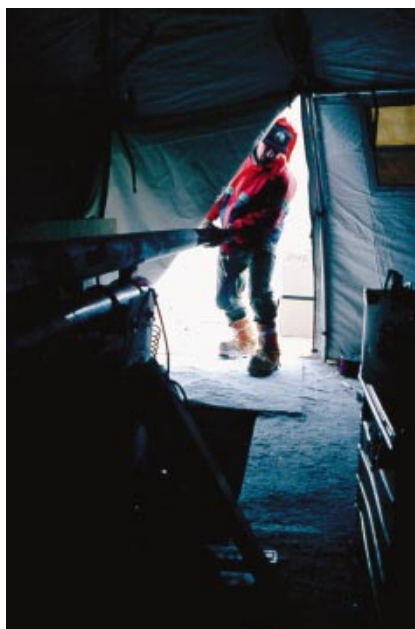
### Iskerneboringen

Efter de omfattende forberedelser var alt klar til udboring af iskernen i løbet af sommeren 1995. Boringen blev foretaget med et avanceret isbor, der er konstrueret ved Geofysisk Afdeling på Københavns Universitet, og som har været anvendt til tidligere borer på Indlandsisen. Iskernen skæres fri af et sæt roterende knive, der skærer en ring rundt om kernen. De is-spåner, der fræses væk suges op i en særlig del af boret, så de ikke er i vejen. Boret kan vippe, så det kommer til at ligge vandret, når iskernestykkerne skal trækkes ud (figur 7 og 8). Herefter skæres der prøver til isotopundersøgelser af isen, målinger af isens vægtfylde, registrering af smeltelag og måling af isens surhedsgrad.

Når der overhovedet blev udtaget iskerneprøver i felten samt foretaget elektriske målinger på stedet skyldes det, at der er åbenlyse fordele ved en sådan fremgangsmåde. Der spares megen tid, og visse prøver er langt nemmere at tage i felten. For eksempel undgås eventuel forurening og brud på iskernerne under en længere transport.

Arbejdet var imidlertid forbundet med store besværligheder. Det viste sig som frygtet, at meget høje sommertempera-

rer kunne forekomme selv i 1300 meters højde. Undersøgelser af iskerner i felten ved temperaturer på plus 5 grader er ikke særligt fornuftigt, og vi havde derfor medbragt et køleaggregat for at holde temperaturerne nede i borettet. Det blev imidlertid så varmt, at målinger og pakning af iskernerne skulle ske meget hurtigt. Hertil kom, at iskernerne jo ikke kunne opbe-



Figur 7. Borerøret med iskerne tages ud af borettet på grund af den trange plads i teltet.

res på overfladen, hvor temperaturen i de første 2 uger af juni nåede helt op på 8-10 grader. Det var derfor nødvendigt at udgrave en stor skakt i sneen, hvor iskernerne blev anbragt i velisolerede kasser. På trods af de høje dagtemperaturer var temperaturen i skakten kun omkring minus 17 grader. Forklaringen skyldes den meget lave middelårstemperatur i Peary Land kombineret med en meget "tæt" sneoverflade på Hans Tausen Iskappe. Det sidste skyldes paradoksalt nok de høje sommertemperaturer, som pakker den porøse sne så hurtigt, at sommervarmen kun langsomt kan trænge i dybden. Det var derfor muligt at opbevare iskernerne uden temperaturproblemer indtil hjemsendelsen med fly til Danmark. Her forestår mange års måle- og analysearbejde af iskernerne i laboratoriet. Dette gælder især de kemiske analyser af iskernen samt målinger af isens isotopiske sammensætning ved hjælp af et massepektrometer.

### Målinger af isens bevægelse

En iskappe bevæger sig meget langsomt. Lokalt omkring borestedet på Hans Tausen Iskappe er bevægelsen kun nogle få centimeter om året. Men hastigheden stiger ud mod kanten af iskappen. På den nordøstlige gletschertunge, når hastigheden således



Figur 8. Iskernen tages forsigtigt ud af det indre borerør. (Se også omslaget).

op på næsten 50 meter om året. Isbevægelsen bestemmes ved at måle flytningen af stager, der er boret ned i isen. De små flytninger stiller store krav til nøjagtigheden af målingerne. I praksis bruger vi målinger fra satellitter til bestemmelse af isbevægelsen - såkaldte GPS målinger. GPS, der står for Global Positioning System, er et system, der er udviklet af det amerikanske forsvar. Kernen i systemet er et antal satellitter, der svæver i faste baner omkring jorden i en afstand på omkring 20.000 km over jordens overflade. Satellitterne sender radiosignaler til jorden, og de kan modtages af GPS-modtagere. Ud fra disse signaler kan en GPS-modtager med stor nøjagtighed beregne, hvor i verden den befinder sig. Stagernes flytning måles således ved gentagne GPS-målinger.

### Målinger af isregnskabet

I det nordøstlige gletscherbassin er der foretaget målinger af snepålejringen og afsmeltningen for at beskrive isens balance. Målingerne er foretaget ved en hel række stager, der er boret ned i isen. Om foråret



Figur 9. Målinger af snepålejringen. Sneens vægtfylde bestemmes ud fra prøver udtaget i sneskakte.

måler man, hvor meget sne der er faldet på gletscheren i løbet af vinteren. Man måler

sneens vægtfylde i skakte, der er udgravet i sneen. (figur 9). Herved kan man beregne, hvor meget is, denne snepålejring svarer til. Tilsvarende målinger foretages igen om efteråret, når sommerens afsmeltning er slut. På denne kan man holde regnskab med størrelsen af afsmeltningen og snepålejringen og finde ud af om iskapen er i balance.

### Boringer med varmt vand

Temperaturen gennem gletschertungen blev også målt i gletscherbassinet. Målingerne blev foretaget i et hul, der var boret gennem den 280 meter tykke is. Der blev anvendt et specielt varmtvandsbor, der er udviklet ved GEUS. Boret spuler sig vej ned gennem isen ved hjælp af varmt vand under højt tryk (figur 10). Smeltvand pumpes op fra isoverfladen og varmes op til 70 grader. Derefter pumpes det gennem højtryksslanger til et afgangsrør med en dyse, der smelter sig vej ned gennem isen. Denne boremetode er meget hurtigere end kerneboringer. Og den anvendes derfor ofte til boringer, hvor man blot skal have et dybt hul i isen til målinger.



Figur 10. Varmtvandsboring på gletschertunge, der flyder ud fra Hans Tausen Iskappe.



### Landsbyerne i ødemarken

Det kan være et hårdt slid at arbejde som glaciolog. Tunge kasser med udstyr skal flyttes rundt på isen, huller skal bores, og skakke skal graves til mange meters dybde. Det er derfor vigtigt, at vi bor og lever nogenlunde godt. En landsby af solide kuppeltelte, der er bygget med eskimoernes iglo som forbillede, var hjemmet for glaciologerne, der i 1995 borede iskernen fri på Hans Tausen Iskappe (figur 11). I begyndelsen af juni var vejret så varmt, at frokosten kunne indtages udendørs (figur 12), og de sanitære installationer på iskappen skal også være i orden (figur 13). Fra borelejren blev radio kommunikationen til omverden styret, og der blev holdt daglig radiokontakt med glaciologerne, der arbejdede i det lavtliggende gletscherbassin. Lejren var her placeret ved iskanten (figur 14), fordi afsmeltningen er så stor, at camping på isen kan være en meget våd fornøjelse.

Den daglige transport rundt på iskappen foregår med snescootere. På de højtliggende centrale dele af Hans Tausen Iskappe bliver sneen liggende fra år til år og overfladen er derfor ideel til kørsel med snescootere. I de lavere højder er forholdene dog anderledes. Store våde snesumpe udvikles hver sommer, og alt færdsel på isen må i perioder indstilles (figur 15). Det er først muligt at bevæge sig rundt på overfladen igen, når sneen er væk eller frosset til igen sent på sommeren. Erfaringerne fra arbejdet på Hans Tausen Iskappe viser dog, at det er muligt på sikker vis at bevæge sig rundt på den smeltende gletschertunge, selv om der optræder floder af smeltevand på overfladen (figur 16). Herved kunne brugen af dyre helikoptere begrænses til et absolut minimum, og



Figur 12. En varm dag i juni. Frokosten indtages uden for køkkenteltet.



Figur 13. Det lille sted på isen! Vandret flag betyder "optaget"!

arbejdet kunne gennemføres inden for projektets økonomiske rammer.

Livet på isen er andet end arbejde, det er også fantastiske oplevelser og godt kamme-

ratskab. Hans Tausen projektet har derfor ikke kun skabt ny videnskabelig viden, men det har også skabt varige menneskelige forbindelser mellem nordiske forskerkolleger.



Figur 11. Glaciolog lejr ved borestedet på toppen af Hans Tausen Iskappe.




### Hvad iskernen kan fortælle

Den 345 meter dybe iskerne, der er boret helt til bunden af Hans Tausen Iskappe, giver mange oplysninger om klimaet og iskappens skæbne efter istiden. Iskernen er et snit igennem hele iskappens levetid, og hvert enkelt årlag indeholder oplysninger om tilstanden i atmosfæren, da sneen faldt. Målinger af isens iltisotoper, kemiske sammensætning og indhold af støvpartikler fortæller hver deres historie.

Iltisotoperne fortæller om temperaturen. Langs hele iskernen måler man isens indhold af den tunge iltisotop  $^{18}\text{O}$ . I praksis udtrykkes dette indhold i forhold til en standard, som ligger tæt på verdenshavens isotopiske sammensætning. Og det angives i promille (‰) ved parameteren ( $^{18}\text{O}$ ). Erfaringen viser, at der er en sammenhæng mellem ( $^{18}\text{O}$ ) værdien af årets nedbør og stedets årlige middeltemperatur. Jo koldere det er, når nedbøren falder, jo mere negativ bliver ( $^{18}\text{O}$ ) værdien af isen. En ændring på 1‰ i ( $^{18}\text{O}$ ) svarer til en temperaturændring på ca. 1,5°C. Ved at måle ( $^{18}\text{O}$ ) værdien af isen for dybere og dybere lag af iskernen, fås oplysninger om ældre og ældre tiders klima.

Alderen af islagene i en iskerne kan opnås ved matematiske modelberegninger, eller ved at finde lag med en helt speciel kemisk sammensætning. Et sådant lag kan for eksempel stamme fra et stort vulkanudbrud. Under vulkanudbrud, sendes der store mængder svovlgasser ud i atmosfæren. Efterhånden vaskes gasserne dog ud af luften og danner på denne måde lag i iskapperne med højt svovlsyreindhold. Isens syreværdier måles direkte i felten på rensede iskerners overflade ved elektriske målinger, såkaldte ECM (Electical Conductivity Method) målinger. Princippet i målingerne er baseret på det faktum, at jo større syreindhold isen har, jo større strøm kan den lede. Flere store kendte vulkanudbrud er på denne måde fundet i Hans Tausen iskernen.

Selv om Hans Tausen iskernen endnu ikke er færdiganalyseret, så har den allerede "fortalt" os en historie, der sammen med undersøgelserne af geologien og afsmeltningen på isen, giver et billede af iskappens liv og Peary Lands klimaændringer. 



Figur 14. Glaciolog lejr ved iskanten af Hans Tausen Iskappe.



Figur 15. Snescooter i vanskeligheder i snesump på Hans Tausen Iskappe.



Figur 16. Passage af smeltevandsflod med snescooter på Hans Tausen Iskappe.

# Klima, is og landskab



Figur 17. På bjergtoppene omkring Hans Tausen Iskappe finder man blokke af fremmede bjergarter, der er transporteret til området af et langt større isdække. Foto: Jon Landvik



Figur 18. Nordpasset nord for Hans Tausen Iskappe har været fyldt med is. Da isen smeltede gravede smeltetvandet store flodlejer ud, der i dag hænger højt oppe på dalsiderne. Foto: Jon Landvik.



Figur 19. Muslingeskaller fastsiddende i hævede fjordsedimenter i Nordpasset. Kulstof-14 dateringer af skallerne viser, at denne dal blev isfri for 7300 år siden. Foto: Jon Landvik.

## Iskappens tidlige historie

De geologiske undersøgelser af landskaberne omkring Hans Tausen Iskappe fortæller om iskappens udbredelse mange år tilbage i tiden. Fundet af sedimenter, som er afsat af isen, viser, at iskappen tidligere har været meget større. På mange bjergtoppe nord for Hans Tausen Iskappe er der fundet blokke af fremmede bjergarter, som er transporteret til området af et langt større isdække (figur 17). På dette tidspunkt var de store dale nord for iskappen fyldt med is og Hans Tausen Iskappe hang sammen med de andre lokale iskapper omkring den. Landskabet syd for iskappen viser, at Indlandsisen også havde en større udbredelse på dette tidspunkt, og der er god grund til at formode, at Hans Tausen Iskappe og Indlandsisen var sammenhængende ved slutningen af sidste istid. Da istiden havde sluppet sit tag startede afsmeltningen og den kulminerede under det klimatiske optimum, der indtrådte for 6000-8000 år siden. Her var temperaturen 4-5 gradere varmere end i dag. Store mængder smeltetvand, fra det da meget tykkere isdække, gravede store floddale ud, som i dag kan ses højt oppe på dalsiderne i blandt andet Nordpasset (figur 1 og 18). Kulstof-14 dateringer af muslingeskaller viser, at Nordpasset blev isfrit for 7300 år siden. Skallerne er fundet i fjordsedimenter (figur 19), der er hævet mange meter i vejret, efter det tykke isdække forsvandt. Datidens varmere klima afsløres også af fundet af 5000-6000 år gammelt drivtømmer i fjordene nord for Hans Tausen Iskappe. Disse fund afslører, at fjordene på det tidspunkt var periodevis isfrie, forhold som er markant forskellig fra nutiden, hvor fjordene er dækket af havis året rundt (figur 20). Men overlevede Hans Tausen Iskappe det klimatiske optimum?

## Da iskappen forsvandt

Som tidligere beskrevet, så fortæller iltisotoperne, udtrykt ved ( $^{18}\text{O}$ ), om temperaturen på det tidspunkt, da sneen faldt. Fra top til bund af Hans Tausen iskernen blev der taget prøver til måling af isens indhold af den tunge iltisotop  $^{18}\text{O}$ . Resultatet af målingerne er gengivet på figur 21. Analyser af iltisotoperne fra andre grønlandske iskerner viser alle et karakteristisk træk, der

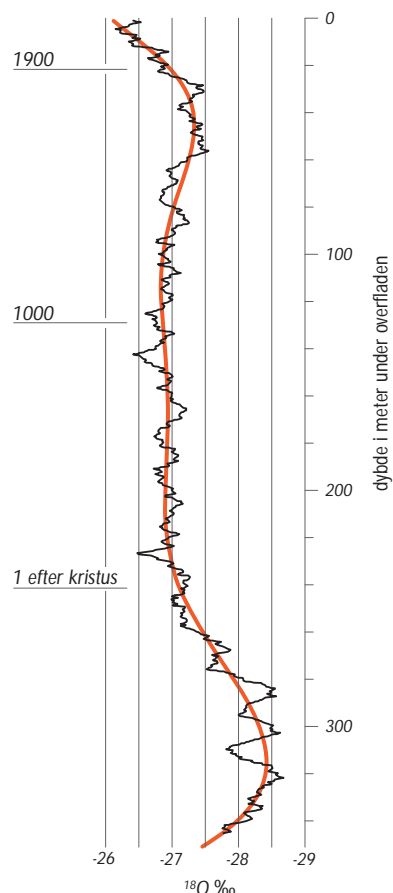




Figur 20. Gletschertunger nord for Hans Tausen iskappe møder i dag det frosne hav. Men fundet af gammelt drivtømmer viser, at fjordene i perioder var isfrie for en 5000-6000 år siden. Foto: Jon Landvik.

klart viser springet til et meget varmere klima efter sidste istid. Det ses som en pludselig og markant stigning i ( $^{18}\text{O}$ ) værdierne på 6-7 ‰. Som det fremgår af figur 21, så genfinder man ikke dette træk i Hans Tausen iskernen. Ganske vist er værdierne noget lavere i de nederste ca. 65 m af iskernen, men de er alt for høje til at vise, at is fra sidste istid er til stede i Hans Tausen kernen. Dette fortæller, at iskappen ikke overlevede det varme klima under det klimatiske optimum for ca. 6000-8000 år siden. Afsmeltingen fra iskappen har i denne periode været så stor, at den langt overgik den årlige tilførsel af sne, og iskappen bukkede til sidst under og smeltede helt bort.

Andre forhold kan være medvirkende til en øget afsmelting. Målinger af temperaturen gennem isen i det nordøstlige gletscherbassin viser, at temperaturen ved bunden i dag er meget tæt på nul grader. Kun en lille opvarmning vil derfor kunne øge bundtemperaturen af gletschertungen til smeltepunktet. Herved begynder isen at glide over bunden, hvilket kan forøge isbevægelsen betragtelig. Dette kan forårsage en forstærket afsmelting, da meget mere is dræner ud fra iskappen og ned i lavere og varmere områder. En sådan mekanisme



Figur 21. Viser ( $^{18}\text{O}$ ) værdien af 55 cm prøver langs hele iskernen fra top til bund. Årstal for lag i isen er angivet. ( $^{18}\text{O}$ ) værdierne er udglattede.

kan have bidraget til bortsmeltingen af Hans Tausen Iskappen i det varmere klima under det klimatiske optimum.

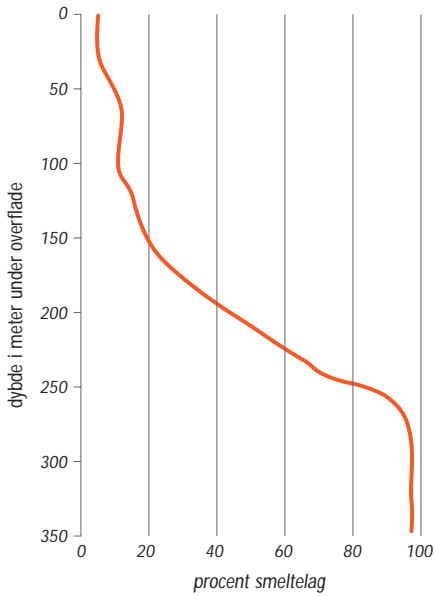
I det nordlige Canada viser tilsvarende iskerneanalyser, at iskapperne her overlevede denne varmeperiode, da man i bunden af iskernerne finder den kolde is fra sidste istid. Resultaterne peger derfor på, at Hans Tausen Iskappe er meget mere følsom overfor svingninger i klimaet end de tilsvarende canadiske iskapper.

### Iskappen genopstår

Andre undersøgelser af iskernen giver et fingerpeg om den senere opbygning af iskappen, som vi kender den i dag, men også om alderen af iskappen. Det drejer sig om undersøgelser af isens karakter, dens indhold af støvpartikler og kemiske sammensætning.

### Den klare is

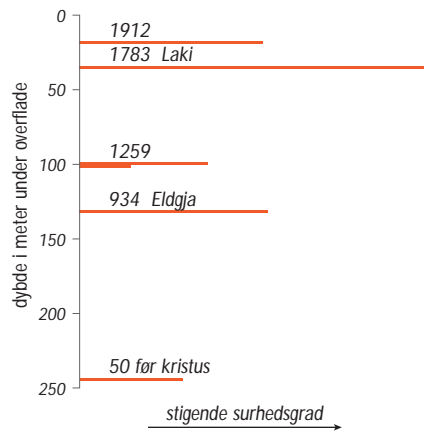
En iskappes overfladelag er porøse, og selv i en dybde af omkring 50 m er årlagene endnu ikke omdannet til gletscheris. Dette sker først i omkring 100-150 meters dybde. Men varme somre kan fremskynde omdannelsen af sneen, især i de øverste 40 m af iskappen. Dette er tilfældet for Hans Tausen Iskappen, som udviser en meget



Figur 22. Mængden af smeltelag i Hans Tausen iskernen. De nederste 50 meter af iskernen er helt klar is, der er dannet ved frysning af smeltende sne.

kraftig forøgelse af isens vægtfylde over de første ca. 40 meters dybde. De varme somre opvarmer overfladen til smeltepunktet, og smelte vandet siver nogle centimeter ned i iskappen. Her er sneen under smeltepunktet, og vandet genfryser og danner klare islag i den porøse sne. Tykkelsen og hyppigheden af disse islag, som kan registreres langs hele iskernen, adskiller sig klart fra den normale gletscheris både ved sin høje vægtfylde og ringe indhold af små luftbobler.

Hyppigheden af islagene i Hans Tausen iskernen er vist på figur 22. De antyder, hvor varmt det har været på Hans Tausen borestedets overflade tilbage i tiden. Islagene er mangfoldige i de nederste 200 meter af kernen, men antallet aftager drastisk i de øverste 150 meter (figur 22). De nederste 50 meter af iskernen består endda af helt klar is uden luftbobler. Dette antyder, at den nuværende iskappe begyndte at etablere sig under varmere forhold end i dag. Varmen skyldes ikke kun klimaet, men også det forhold, at den første sne, som blev liggende sommeren over, faldt på et isfrit landskab, der var omkring 300 meter lavere end i dag. Temperaturen ved overfladen var derfor også højere.



Figur 23. Iskernens syreværdier for nogle af de største vulkanudbrud gennem de sidste 2000 år. Årstal for de sure snelag er angivet. Målingen er kontinuert langs iskernen og har en opløsning på nogle få millimeter langs kernen.

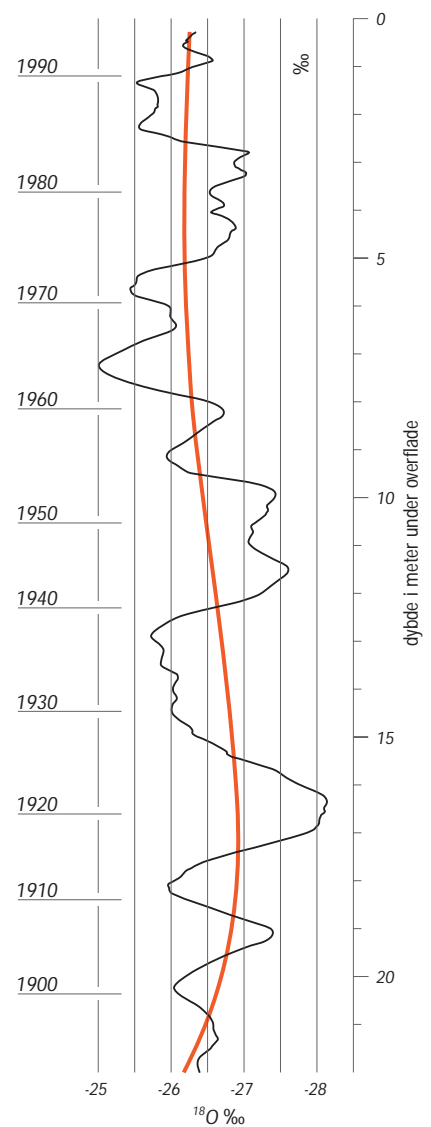
**Støvet sladrer**

På dette tidspunkt var iskappen kun skyggen af sig selv. Storme havde derfor gode chancer for at blæse store støvpartikler helt ind over isen fra de omkring liggende isfrie områder. Men hvad siger iskernen egentlig om det? Målinger af støvpartikler i iskernen bekræfter dette billede. De viser, at de nederste dele af iskernen indeholder en overvægt af store partikler af lokal oprindelse. Dette følger endnu en brik til billedet af, at Hans Tausen Iskappe på dette tidspunkt var ganske lille og under begyndende opbygning.

**Alderen af iskappen**

Iskernen giver også et bud på, hvornår opbygningen af den nuværende Hans Tausen Iskappe begyndte. Som tidligere nævnt optræder der lag med et højt syreindhold flere steder langs iskernen. Disse lag markerer store vulkanudbrud, der har spyet store mængder svovlgasser ud i atmosfæren (figur 23).

Generelt er isens surhedsgrad i Hans Tausen Iskappe tæt på at være neutral, mens Indlandsisen gennem de sidste 11.550 år er svagt sur. Dette skyldes iskappens begrænsede størrelse. Lokalt støv kan lettere blæse ind på iskappen og medvirke til neutralisering af isens syreindhold. Den ringe årlige nedbør på Hans Tausen Iskappe, og



Figur 24. De udglattede (<sup>18</sup>O) værdier for det sidste århundrede. Årstal for lag i isen er angivet. Kurven viser mange fællestræk med temperaturudviklingen gennem dette århundrede på Grønlands vestkyst.

de varme somre der danner kraftige islag, gør det noget vanskeligere at identificere de sure vulkanske lag i iskernen. Signalerne bliver således mere udglattede end signalerne i iskerne fra Indlandsisen. Derfor er kun de tydeligste vulkanske horisonter angivet på figur 23.

I Hans Tausen iskernen finder man de samme udbrud som i andre iskerner i Grønland. Det drejer sig blandt andet om *Laki* og *Eldgja* udbrudene på Island, der er dateret til år 1783 og 934. Disse horisonter var



udgangspunkt for den første lidt grove datering af iskernen. Desuden viser målingerne, at et kraftigt vulkansignal mangler - et signal der er fundet i andre grønlandske iskerner. Det drejer sig om et udbrud omkring 1645 før Kristi fødsel. Dette antyder, at opbygningen af iskappen endnu ikke var begyndt for ca. 3500 år siden.

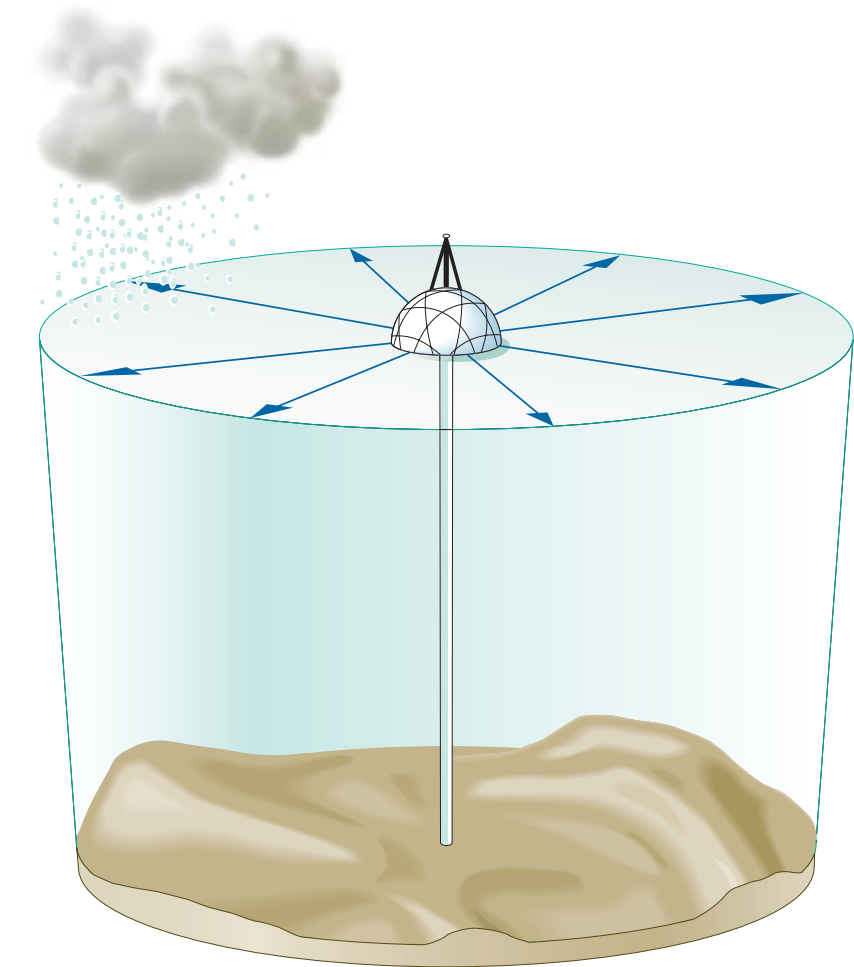
Fundet af de vulkanske lag, som man kender alderen på, giver også mulighed for at måle tykkelsen af de enkelte årlag i iskappen. Det viser, at årlagene stort set er ens hele vejen ned gennem iskernen. Med denne oplysning kan man ud fra iskernens længde beregne en cirka alder på de ældste lag nederst i kernen. En sådan beregning viser ligeledes, at de ældste lag ikke er ældre end 3-4000 år.

Isen fortæller os, at iskappen har været væk i mange år, og at den først er begyndt at bygge op for mellem 3500-4000 år siden.

#### Klimaet de sidste 1000 år

De klimatiske forhold i Peary Land i nyere tid afsløres også af iltisotoperne i Hans Tausen iskernen (figur 21). Det fremgår, at klimaet synes at blive koldere omkring 1000 år før nu, og først i det 20. århundrede stiger temperaturen markant. Mellem 1960'erne og slutningen på 1920'erne finder man de højeste ( $^{18}\text{O}$ ) værdier (figur 24). Dette antyder, at Peary Land følger den generelle tendens af temperaturer for grønlandske stationer siden slutningen af det 19. århundrede. Den viser, at temperaturen har været højest for 40-70 år siden og ikke i de sidste 30 år, som tilfældet er for den globale temperaturudvikling.

En nærmere analyse af de sidste 100 år ( $^{18}\text{O}$ ) værdier og temperaturmålinger på Grønland antyder tillige, at man i Peary Land både finder hovedtræk af temperaturudvikling i Vestgrønland og Nordatlanten gennem det 20. århundrede. Denne konklusion er dog behæftet med nogen usikkerhed, da de årlige ( $^{18}\text{O}$ ) værdier for nedbørene er ret "støjfyldte". En støj der blandt andet stammer fra processer under sneens pålejring, smeltningen og genfrysning på iskappen.



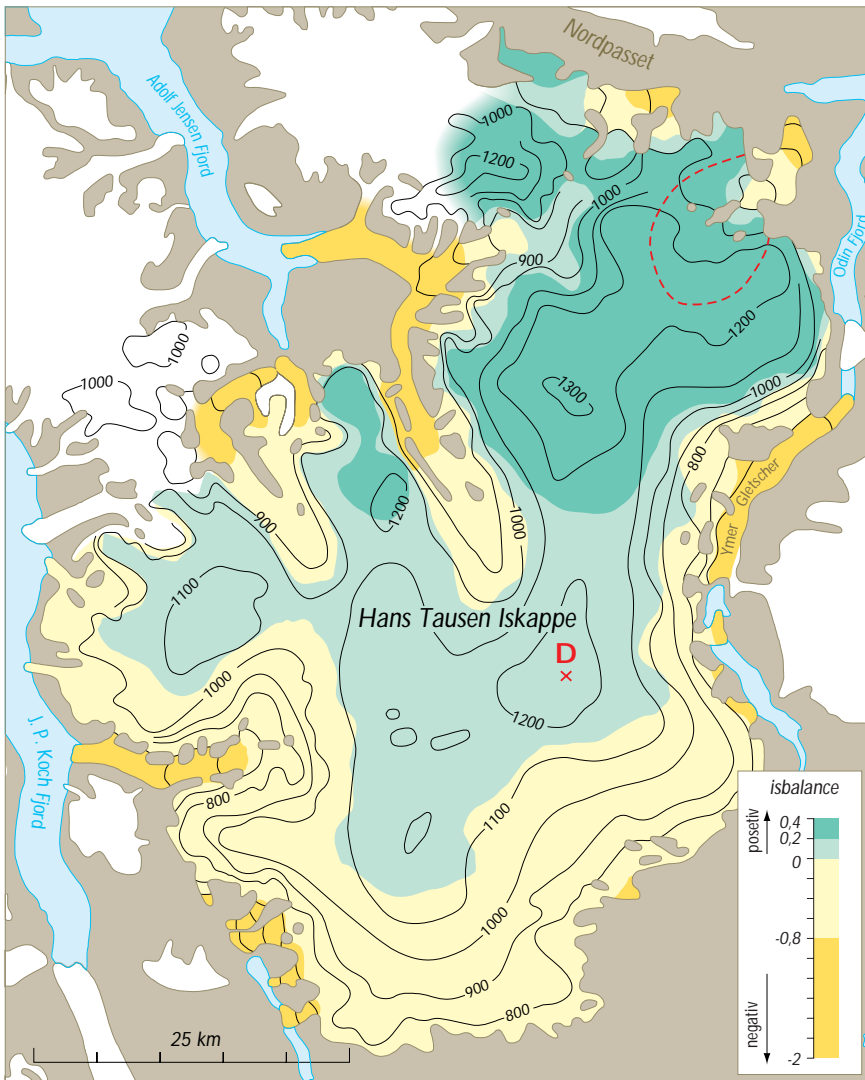
Figur 25. Isen bevæger sig ud i alle retninger (blå pile) fra borestedet centralt på Hans Tausen Iskappe. Isen er lokalt i balance, hvis den mængde is, der bevæger sig ud af cylindertværsnittet, er lig den mængde sne, der falder på overfladen.

#### Iskappen i nutiden

Men hvordan har Hans Tausen Iskappen det egentlig med nutidens klima? Dette er ikke et helt enkelt spørgsmål, og projektet har da også flere svar på det. Tykkelsen af årlagene i iskernen fortæller noget om iskappens sundhedstilstand. Normalt vil årlagene blive tyndere jo længere nede i iskappen, de befinder sig, på grund af isflydningen. "Normalt" skal her forstås som en iskappe i tilnærmelsesvis balance, der betyder, at pålejringen af sne modsvares af tabet fra smeltning. Dateringen af Hans Tausen iskernen ved hjælp af de vulkanske lag viser, at årlagene ikke bliver tyndere med dybden. Dette tyder på, at iskappen stadig er i opbygningsfasen og vokser år for år, eller at det kun er kort tid siden den er kommet i ligevægt.

#### Isregnskabet omkring borestedet

Foreløbige beregninger af isregnskabet omkring borestedet fortæller også sin historie. Fra borestedet stråler isbevægelsen ud i alle retninger (figur 25). Ud fra målinger af isens bevægelse og isens tykkelse er det muligt at holde regnskab med ismængden lokalt, hvis man samtidig kender den snemængde, der hvert år falder på overfladen. Man kan betragte isen omkring borestedet som en utæt tønde med en højde svarende til istykkelsen. Hvis den mængde is, der til stadighed flyder ud af tønden, er lige så stor, som den snemængde, der falder på den, så er området i balance og istykkelsen vil ikke ændre sig (figur 25). Hvis forholdet mellem tab og tilførsel af is ændres vil iskappen lokalt enten vokse eller skrump. Beregninger af isregnskabet omkring bore-



Figur 26. Modelberegninger af isbalancen på Hans Tausen Iskappe i 1994-95. Tallene er i meter af is. De grønne farver viser områder med positiv isbalance og de gule med negativ isbalance. Isregnskabet er negativt på de lavtliggende gletschertunger, hvor der foregår en stor afsmeltning, men også på de store flade områder syd for borestedet. Borestedet er angivet med D og gletscherbassinet mod nordøst er indtegnet med rød stiplede linie.

stedet viser, at isoverfladen i dag vokser omkring 4 cm om året.

**Isregnskabet i gletscherbassinet**

Målinger og beregninger af isregnskabet i gletscherbassinet fortæller en anden historie. På gletschertungerne i lavere højde sker der i dag en stor afsmeltning. Målingerne i 1994-95 viser, at både vintersneen og over 1 meter is smelter væk om sommeren. De viser også, at der foregår smeltning på overfladen helt op i højder på 1000 m over havet. Dette udvikler i perioder store ufremkommelige sumpe af våd sne. Langt den overvejende del af dette smeltevand


trænger dog dybere ned i den kolde sne og fryser igen. Målingerne viser at der i 1994-95 blev tilført mere sne til gletscherbassinet end tabet fra afsmeltningen. Overskuddet svarer til en pålejrning af 17 cm is i gennemsnit for hele bassinet. Men målingerne repræsenterer kun forholdene i dette område af iskappen og det ene år, hvor de er foretaget.

**Isregnskabet for hele Hans Tausen Iskappe**

Gennem matematiske modelberegninger er det dog muligt at beskrive sammenhængen mellem det målte isregnskab og klima-

data indsamlet på stedet. En sådan model er opstillet på basis af alle målingerne af nedbør, temperatur og afsmeltning på Hans Tausen Iskappen samt klima data fra en automatisk vejrstation ved Kap Moltke sydøst for iskappen. Modellen giver mulighed for at beregne isregnskabet for hele Hans Tausen Iskappen (figur 26), men den gør det også muligt at vurdere, hvad der vil ske, hvis man ændrer på nedbøren eller temperaturen. Modelberegningerne viser, at afsmeltningen fra hele Hans Tausen Iskappen var større end den totale snepålejrning i 1994-95, hvor målingerne er foretaget. Dette svarer til et tab af 13 cm is i gennemsnit over hele iskappen det pågældende år. Det er specielt de store flade områder syd for borestedet, der tegner sig for dette tab (figur 26). Det skyldes, at der ikke falder ret meget nedbør her sammenlignet med den nordlige del af iskappen. Luftmasser fra nord afgiver det meste af nedbøren over den nordlige bjergrige del af iskappen og efterlader den fladere sydlige del i nedbørsskygge. Mere detaljerede analyser af snepålejrningen fra år til år, ud fra iskernens oplysninger, kan røkke lidt ved dette billede.

Modellen viser entydigt, at temperaturen spiller en meget stor rolle for sundhedstilstanden af Hans Tausen Iskappe. Hvis man hæver temperaturen bare 2 grader i juli måned, hvor afsmeltningen er størst, så vil der ske så stor en stigning i afsmeltningen, at kun de højeste dele af iskappen over 1200 m vil have et positivt isregnskab. I gennemsnit over hele iskappen svarer dette til et tab af 38 cm is om året. Sænker man tilsvarende temperaturen med 2 grader i juli måned, så svarer det til en tilvækst på 0,7 cm is i gennemsnit over hele iskappen. Tilbage står der nu, at køre modellen for et klima svarende til det klimatiske optimum.

De foreløbige beregninger viser, at Hans Tausen Iskappen er meget følsom over for ændringer af temperaturen, og de understøtter således observationerne af, at iskappen forsvandt og genopstod under de tidligere ændringer af klimaet. 



## Polhavets klima og Hans Tausen Iskappe

Af Carl Egede Bøggild

Hans Tausen Iskappes flade form kombineret med beliggenheden på et plateau, gør den meget følsom overfor højdebetingede afsmeltningsforhold eller snepålejningsforhold. Hvis vi kigger omkring Iskappen for at finde, hvor den nærmeste kilde til nedbør kan være, må det blive det store polhav, der strækker sig helt over til Sibirien og Alaska. Polhavets klima og indflydelsen på iskappen synes at være oplagt, bl.a. fordi mindre gletschere kan eksistere helt ned til 200 meter over havniveau oppe ved Grønlands nordligste punkt Kap Morris Jessup, medens glaciationsgrænsen gravis stiger sydover, og ligger oppe i ca. 1000 meter ved Hans Tausen Iskappes nordlige afgrænsning.

Vi ved, at havisens dækningsgrad udfor den nærmeste kyst har stor betydning for afsmeltning og nedbørsforhold på en gletscher; kort sagt for gletscherens massebalance. F.eks. ses ved "polynier" (dvs. områder med overvejende åbent vand i et ellers havisdækket område), både ved Thule og Nordostrundingen, at glaciationsgrænser findes helt ned til omkring havniveau, og at grænsen hæves væk fra polynien. Årsagen til dette forhold er, at åbent vand om vinteren afgiver store mængder damp, som krystalliserer i atmosfæren og aflejres som sne på nærliggende fjelde og som lidt efter lidt opbygger gletscherne.

I denne forbindelse bliver havisforholdene i polhavet interessant for Hans Tausen Iskappe. Specielt den havis som ligger tættest på iskappen. Men, hvorledes varierer havisdækket med de naturlige fluktuationer i klimaet? Dette spørgsmål kan vi ikke umiddelbart besvare, da der kun eksisterer få observationer fra dette område. Men der er ca. 25 års satellitdata til rådighed, som viser havisdækkets udbredelse omkring nordpolen.

Sådanne data har indgået i modelberegninger udført af amerikanske forskere over atmosfærens og havets cirkulation under forskellige klimatiske forhold i polhavet og det nordligste Grønland (se figurtekst).

Den nøjagtige betydning for Hans Tausen Iskappe af disse forskellige vejrtyper er ikke kendt. Men når luften f.eks. under en højtryksperiode passerer kystlinien og presses op mod fjeldene, vil den afgive nedbør, som for det meste falder som sne, dvs. giver et positivt bidrag til masseregnskabet. Måske er der en sammenhæng mellem disse klimatilstande, og svingningerne i isotopkurven (Fig.24) for de sidste 100 år.



Figuren illustrerer resultaterne af modelberegningerne af havisens bevægelsesmønster i hhv. "højtryks" og "lavtryks" perioder af 4-6 års varighed. Disse to tilstande repræsenterer yderligheder i klimaet. Figuren viser, at under højtryksforhold vil der forekomme en kraftig vind og isbevægelse fra nordlig retning og ned mod Peary Land. I lavtryksperioder derimod, vil der være en østgående is- og atmosfære bevægelse, som er en del svagere.



### Hans Tausen Iskappe Projektet

Hans Tausen Iskappe Projektet er støttet af Nordisk Ministerråds Miljøforskningsprogram 1993-1997. Syv institutioner fra Danmark, Island, Norge og Sverige har deltaget i projektet.

### Følgende personer har deltaget i Hans Tausen Iskappe Projektet:

**Jon Landvik** og **Anette Hansen**, Universitetsstudierne på Svalbard (UNIS), Box 156, N-9170 Longyearbyen, Norge

**Peter Jonsson**, Lunds Universitet, Box 118, S-221 00 Lund, Sverige

**Sigfús J. Johnsen** og **Árny É. Sveinbjörnsdóttir**, Islands Universitet, IS-107 Reykjavik, Island

**Henrik B. Clausen**, **Dorthe Dahl-Jensen**, **Niels Gundestrup**, **Claus U. Hammer**, **Christine Hvidberg**, **Karen Nørgaard Madsen**, **Mia Stampe** og **Jørgen Peter Steffensen**, Niels Bohr Institutet for Astrofysik, Fysik og Geofysik, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø, Danmark

**Niels Reeh**, Dansk Center for Telemåling, Institut for Elektromagnetiske Systemer, Bygning 348, Danmarks Tekniske Universitet, 2800 Lyngby, Danmark

**Carl Egede Bøggild**, **Ole B. Olesen**, **Wolfgang Starzer**, **Henrik Højmark Thomsen** og **Anker Weidick**, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), Thoravej 8, 2400 København NV, Danmark

**Kristian Keller**, Kort & Matrikelstyrelsen, Rentemestervej 8, 2400 København NV, Danmark

Læs mere om Hans Tausen Iskappe i *Polarfronten* Nr. 2. 1998. Udgivet af Dansk Polarcenter (tlf. 32 88 01 00).



## Grundvandet i Danmark - kort fortalt

Ny udgivelse i GEUS' "kort fortalt" serie

*Når is og sne smelter, og når det regner på vore himmelstrøg, bliver noget af det til grundvand.*

- I 1991 udgav det daværende DGU bogen "Grundvand og drikkevand - kort fortalt". Bogen har været udsolgt i nogle år, og da vand og drikkevand er mere aktuelt end nogensinde, blev det besluttet at udarbejde en helt ny bog i serien om samme emne.
- Den nye bog har fået titlen: "Grundvandet i Danmark - kort fortalt". I en række kapitler beskrives vandets kredsløb, vandets kemiske sammensætning, hvor grundvandet findes i jorden, hvordan man får det op, hvor gammelt det er og meget mere; som noget nyt er der et kapitel om truslerne med grundvandet.
- Bogen henvender sig til undervisere og elever i folkeskolen og gymnasiet, men alle interesserede i emnet kan få udbytte af at læse bogen, der er populær i ordets bedste betydning.
- Bogen er på 48 sider med mange illustrationer og billeder i farver.

Bogen kan købes hos Geografforlaget og koster 88 kr. eksklusiv forsendelse.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energinisteriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer

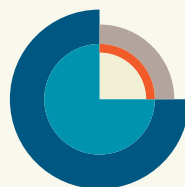
GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

**GEOLOGI - NYT FRA GEUS** er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

### Skriv, ring eller mail:

GEUS  
Danmarks og Grønlands  
Geologiske Undersøgelse  
Thoravej 8, 2400 København NV.  
Tlf.: 38 14 20 00  
Fax.: 38 14 20 50  
E-post: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)  
Hjemmeside: [www.geus.dk](http://www.geus.dk)



**GEUS**

### GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.: 63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: [go@geografforlaget.dk](mailto:go@geografforlaget.dk)

Hjemmeside: [www.geografforlaget.dk](http://www.geografforlaget.dk)



Adressen er:  
GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:  
Carsten Thuesen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Henrik Højmark

Illustrationer: Carsten Thuesen