

geo viden

NR. 3 • OKTOBER 2019

INDLANDSISEN

Grønland uden is

Før Indlandsisens indtog
var Grønland grøn

8

Feltfortællinger

Forskernes vildeste
oplevelser på isen

18

Iskerneforskning

Forskningsfeltet der startede
med en tom øl

22

Indlandsisen

Hold hovedet koldt, når du læser om Indlandsisen.

Medierne er fulde af historier om, at Indlandsisen smelter, og at det går hurtigere, end man nogensinde før har set. Det er der desværre ikke nogen tvivl om. Hvad der derimod godt kan være tvivl om er, hvordan de udsving, der sker til både positiv og negativ side, hænger sammen med

klimaforandringerne på den lange bane. For hvis en gletsjer pludselig ikke taber ret meget is i forhold til året før, betyder det så, at klimaforandringerne er bremsede op? Her er det vigtigt at huske, at der er forskel på klima og vejr. Klima er et mønster i temperatur, nedbør og vindforhold set over lang tid, måske år eller årtusinder. Vejr foregår derimod på time-, dags- og månedsbasis. Man kan altså sige, at vejret bliver til klima over tid. Derfor sker der udsving på grund af vejr,

som er uafhængige af den generelle, nedadgående tendens, der skyldes klimaændringer.

Der er mange mennesker, der bruger deres liv på at holde øje med både klimaets og vejrets påvirkning af Indlandsisens størrelse. Mange af dem er danske, og når de er afsted på feltarbejde i Grønland, ser de med egne øjne, at selvom der smelter mere og mere is generelt, så kan der godt være enkelte år eller steder, hvor det går

den modsatte vej. Det kan nemt mistolkes, og bliver det desværre stadig. Derfor håber jeg, at dette Geovidens kan være med til at fastslå, at Indlandsisen er dynamisk og kompliceret, men at det kun gør det så meget vigtigere, at vi prioriterer at forstå den.

God læselyst! 



Johanne Uhrenholt Kusnitzoff
Redaktør og skribent

Tjek geoviden.dk

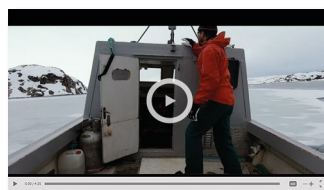


Find mere

I Geovidens onlineunivers:

- Ni videoer om forskning på Indlandsisen
- Animationer af isens reaktion på forskelligt klima
- Data på isens massebalance til opgaver
- Forklaring af nøglebegreber
- Bladet og de enkelte artikler og illustrationer
- Links og henvisninger til videre læsning

geoviden.dk/indlandsisen



UNDERGROUND
CHANNEL

Kom med på ekspedition for at redde en vigtig målestation på Indlandsisen i videoen på: geoviden.dk/indlandsisen

Ekspertter der har bidraget til dette Geoviden



Anders Svensson
Lektor
Københavns Universitet
Niels Bohr Institutet



Andreas Peter Ahlstrøm
Chefkonsulent
GEUS
Glaciologi og Klima



Frederik Næsby Sukstorf
Specialestuderende
Københavns Universitet
Institut for Geologi og Naturforvaltning



Nanna Bjørnholt Karlsson
Seniorforsker
GEUS
Glaciologi og Klima



Ole Bennike
Seniorforsker
GEUS
Maringeologi



Robert Schjøtt Fausto
Seniorforsker
GEUS
Glaciologi og Klima



Rune Kraghede
Videnskabelig assistent
Aarhus Universitet
Institut for Geoscience

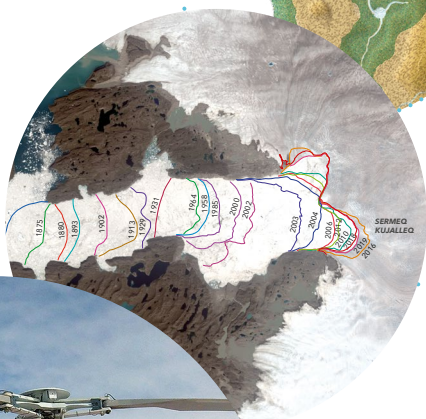


.....'STOR IS' **4**

Fra sne til is til vand **6**



.....Da Grønland var grøn **8**



Massebalance **10**

.....Turbogletsjer spiller hovedrolle i massebalancen **12**



Isens strømninger **16**

.....På feltarbejde i Grønland **18**

.....Klimaforskningen startede med en tom ølflaske **22**





'STOR IS'

Indlandsisen i Grønland er verdens næststørste ismasse, kun overgået af Antarktis.

Hvis man placerer en tre kilometer tyk, massiv isblok oven på Vesteuropa, så den dækker hele området fra Danmark til Gibraltar, svarer det omtrent til størrelsen på Grønlands Indlandsis. På grønlandsk har Indlands-

isen også det meget passende navn 'Sermesuaq', som betyder 'stor is'. Den kæmpemæssige ismasse er faktisk én stor gletsjer, men på grund af sin størrelse omtales den i stedet som en iskappe, ligesom sin kollega på Antarktis. Tommelfingerreglen er nemlig, at gletsjere, der har et areal på over 50.000 km² kaldes iskapper. Det kriterium opfylder Indlandsisen så rigeligt med et areal på 1.800.000 km². Der er så meget is opmagasi-

neret i Indlandsisen, at hvis det hele smeltede, ville alle verdens have stige med 7,4 meter.

Gammel og ny

Isen i Indlandsisen er hele tiden på vej fra det sted, den blev dannet, og ud mod havet. Nydannet is længere inde på isen maser simpelt hen den ældre is nedad og udefter mod kysten, hvor den til sidst brækker af eller smelter. Det betyder, at selv om Indlandsisen har ligget

der i et par millioner år, så er der ingen is i iskappen, der er nær så gammel. Den ældste is, man har fundet, er omkring 250.000 år gammel. Ligesom cellerne i vores kroppe udskiftes af nye celler gennem hele vores liv, erstattes isen i Indlandsisen nemlig hele tiden af ny is i takt med, at den gamle smelter væk ved kanterne. Indlandsisen er derfor i høj grad en dynamisk størrelse, der hele tiden er i bevægelse. 9

Fra sne til is til vand

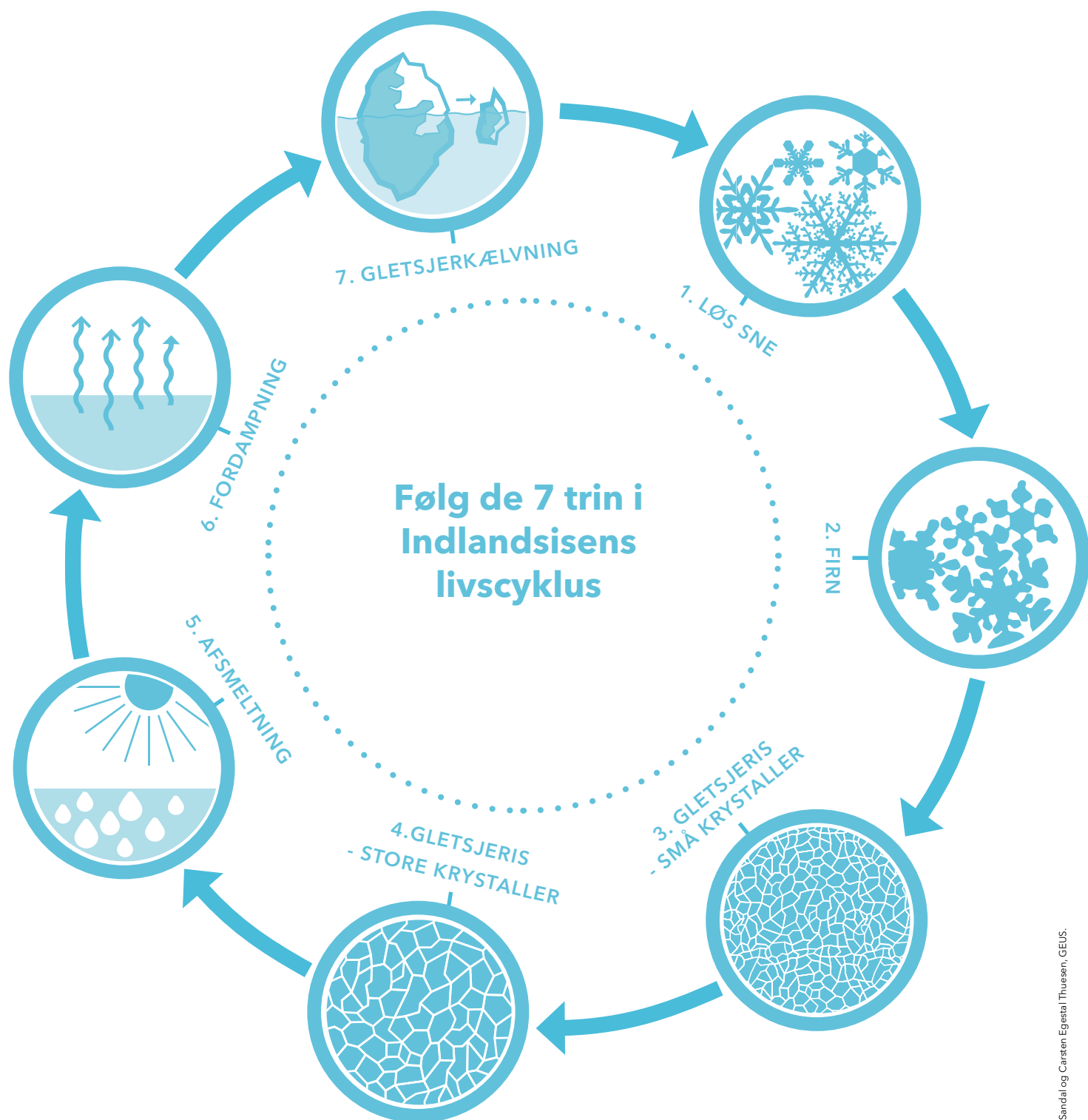


Illustration: Lykke Søndal og Carsten Egeстал Thuesen, GEUS.

Figur 1.

1. Løs sne

Vanddamp fra hav og søer fortættes oppe i atmosfæren og danner snefnug, der daler ned og rammer jordoverfladen. Sammenstødet får mange af de skrøbelige snefnug til at gå i stykker, så de fine, geometriske arme brækker af og efterlader snefnuggene mere afrundede.

De er dog stadig så uregelmæssige i formen, at selvom de pakkes sammen under ny sne, er der stadig masser af plads til luft mellem hvert fnug, og man siger, at densiteten er lav.

2. Firn

Firn er sne, der har klaret sig igennem en sommer. Firn er et mellemstadium mellem sne og is, da snepartiklerne nu er tiltagende afrundede og begynder at blive mast mere og mere sammen af vægten under ny sne. Densiteten er altså stigende, da luften begynder at blive mast ud. Nogle steder vil luften dog blive fanget i hulrum mellem snepartiklerne. Det bliver med tiden til luftbobler.

3. Gletsjeris - små krystaller

Når der er gået nogle sæsoner, vil vægten fra de øvre snelag begynde at mase firnen så meget sammen, at snepartiklerne begynder at fusionere med nabopartiklerne. Det bliver til iskrystaller, så nu er sneen overgået til isstadiet.

Dog er krystallerne stadig meget små, typisk omkring en millimeter. Densiteten er høj, da luften efterhånden kun er til stede som sporadiske luftbobler.

Antallet af luftbobler er dog svingende, afhængigt af de fysiske forhold under firndannelsen. Det er boblerne, der giver isen dens blåhvide farve, så is uden luftbobler er helt transparent. Ligesom isterninger fra fryseren.

4. Gletsjeris - store krystaller

Jo længere tid, der går, des mere sne falder på overfladen, og des mere presses isen nedad. Trykket får de små iskrystaller til at vokse sammen med flere og flere af de nærliggende krystaller, så isen bliver endnu mere tætpakket og får meget høj densitet.

De største iskrystaller findes i de ældste dele af isen, som befinder sig tættest på bunden. Her er temperaturen lidt højere på grund af varme fra jorden, og det får krystallerne til at vokse sig endnu større. De største krystaller i Indlandsisen er typisk omkring en centimeter store.

5. Afsmeltnings

Isen lever ikke evigt. Når vinteren går på hæld begynder Solens stråler at tage til i styrke over Grønland, og de øverste lag af sne, der er faldet oven på isen i vinterens løb, begynder at smelte. Afsmeltningsen starter i de lavest liggende områder ved kysten, fordi der er varmest, og det er her størstedelen af afsmeltningsen sker i sommerens løb. Hvis al sneen oven på isen når at smelte væk, bliver det gletsjerisens tur.

Noget af smeltevandet bliver på Indlandsisen, hvor noget fryser til is igen, når det løber ned i tilbageværende lag

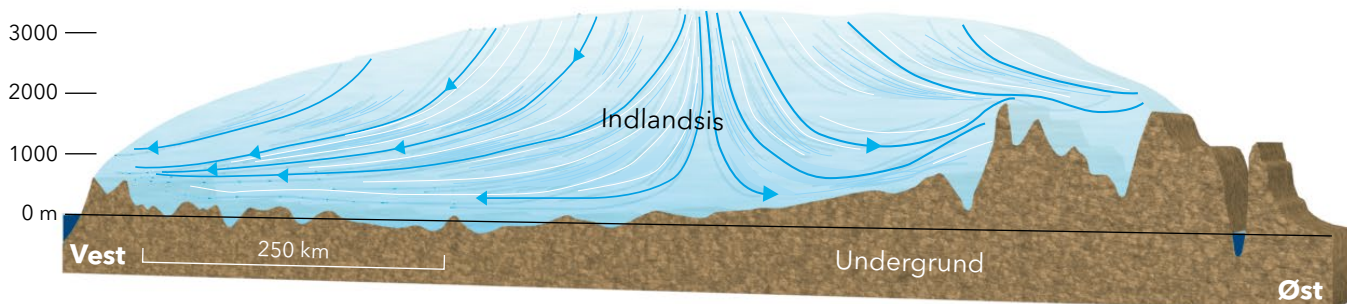
af sne. Det, der ikke fryser igen, samler sig i smeltevandssøer, mens andet finder vejen til havet via smeltevandssloder ovenpå eller nede i isen.

6. Fordampning

En anden måde, isen kan omdannes på, er ved fordampning. Når Solen smelter de øverste lag af Indlandsisen vil en del af det fordampe fra overfladen og blive til vanddamp i atmosfæren. Herfra føres det med vinden, indtil det fortættes til nedbør. Sneen kan også gå direkte fra fast form til damp uden at blive flydende først, hvilket kaldes sublimation.

7. Gletsjerkælvning

Det sidste stop på isens rejse er, når det når ud i gletsjerne. Når isen når kysten, vil den typisk begynde at flyde hurtigere. Især hvis isen ender ud i havet, da havvandet bidrager til en hurtigere smeltning. De dele af isen, der er under vand, smelter ofte hurtigere end den, der er over vandet, så isen får en slags overbid. Det gør gletsjerens front ustabil, samtidig med at der er et konstant pres bagfra fra ny is, der bevæger sig ud mod havet. Det betyder, at der knækker isstykker af, som havner i vandet som isbjerge. Isbjergene føres med havstrømmene, men smelter efterhånden og bliver igen til vand, der kan fordampe og starte forfra i cyklussen.



Grafik: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

Figur 2. Isen i Indlandsisen strømmer fra midten og ud mod havet. Undervejs bevæger den sig også nedad på grund af vægten fra ny is. I Østgrønland er der flere bjerge end i vest, så her møder isen flere forhindringer undervejs. Nogle steder kan isen blive fanget i fordybninger eller 'huller', hvor den bliver liggende.

Da Grønland var grøn

Den enorme iskappe i Grønland har ikke altid ligget der, men er vokset frem i de seneste par millioner år i takt med en global afkøling.

For cirka 40 år siden i det allernordligste Grønland fandt en dansk og en svensk geolog et paradoks. Et omkring 100 meter tykt sedimentlag, som indeholdt rester fra træer, insekter og andre livsformer, som overhovedet ikke burde befinde sig så højt mod nord. Sedimentlaget, kaldet Kap København Formationen, blev dateret til at være omkring to millioner år gammelt. Derudfra kunne forskerne konkludere, at der dengang var et langt varmere klima, som modsat i dag tillod træer og rigt dyreliv at eksistere i Nordgrønland. Fund af hele træstammer i samme område har siden bestyrket, at dengang var Grønland ganske rigtigt grøn (se figur 5).

Istidernes æra begynder

Grønland menes at have haft grønne perioder afbrudt af større eller mindre isdækker til for omkring 1,9 millioner år siden. For 2,6 millioner år siden begynd-

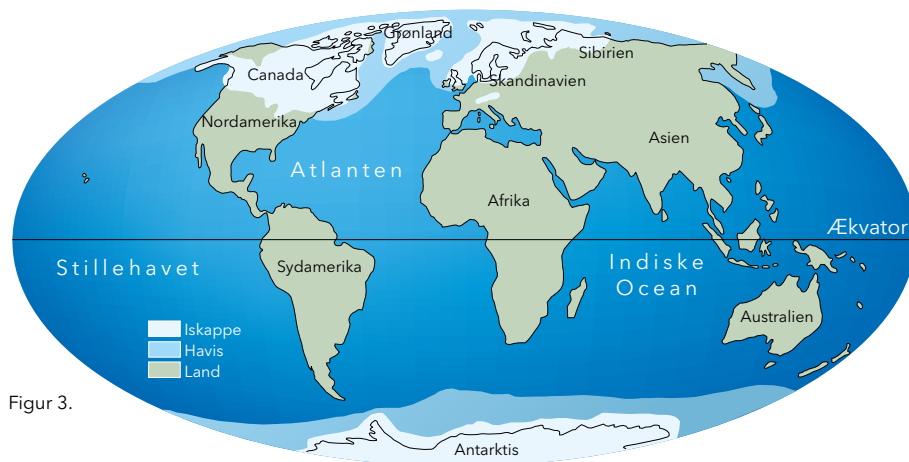
te det globale klima nemlig at blive koldere, men det var først for de 1,9 millioner år siden, at gennemsnitstemperaturen var lav nok til, at sommerens afsmeltning af isen i gletsjerne ikke har kunnet få bugt med den mængde sne, der blev tilført hver vinter. Derfor begyndte de at vokse, og til sidst nå sammen til én stor iskappe, som har ligget der siden - Indlandsisen.

Isen vokser frem

Den gradvise nedkøling, der startede for 2,6 millioner år siden, blev starten på den periode, vi lever i nu, kaldet kvartærtiden. Udover faldende globale



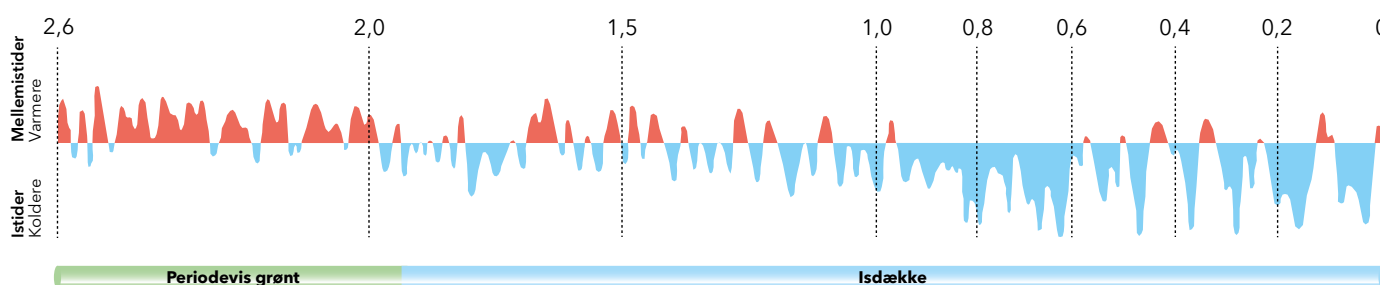
To millioner år gamle, frysetørrede lærkestammer fra Nordgrønland.



Figur 3.

Kilde: C. Scotese, Paleomap Project 2003. Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

Mio. år



Kilder: Modificeret fra J.P. Steffensen, Niels Bohr Institutet, J.F. McManus samt IPCC. Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

Figur 4. Udviklingen i den globale gennemsnitstemperatur i kvartærtiden, altså de sidste 2,6 mio. år, hvor 0 er nutiden. Overgangen til kvartærtiden kendetegnes ved, at det globale klima gik fra stabilt og varmt til en lang afkøling, som siden har vist sig som over 20 skift mellem kolde perioder (istider) og varmere perioder (mellemistider). Temperaturkurven er lavet ved bl.a. at analysere iskerner fra polerne og sedimentkerner fra dybhavene, som indeholder spor fra tidligere tiders klima.




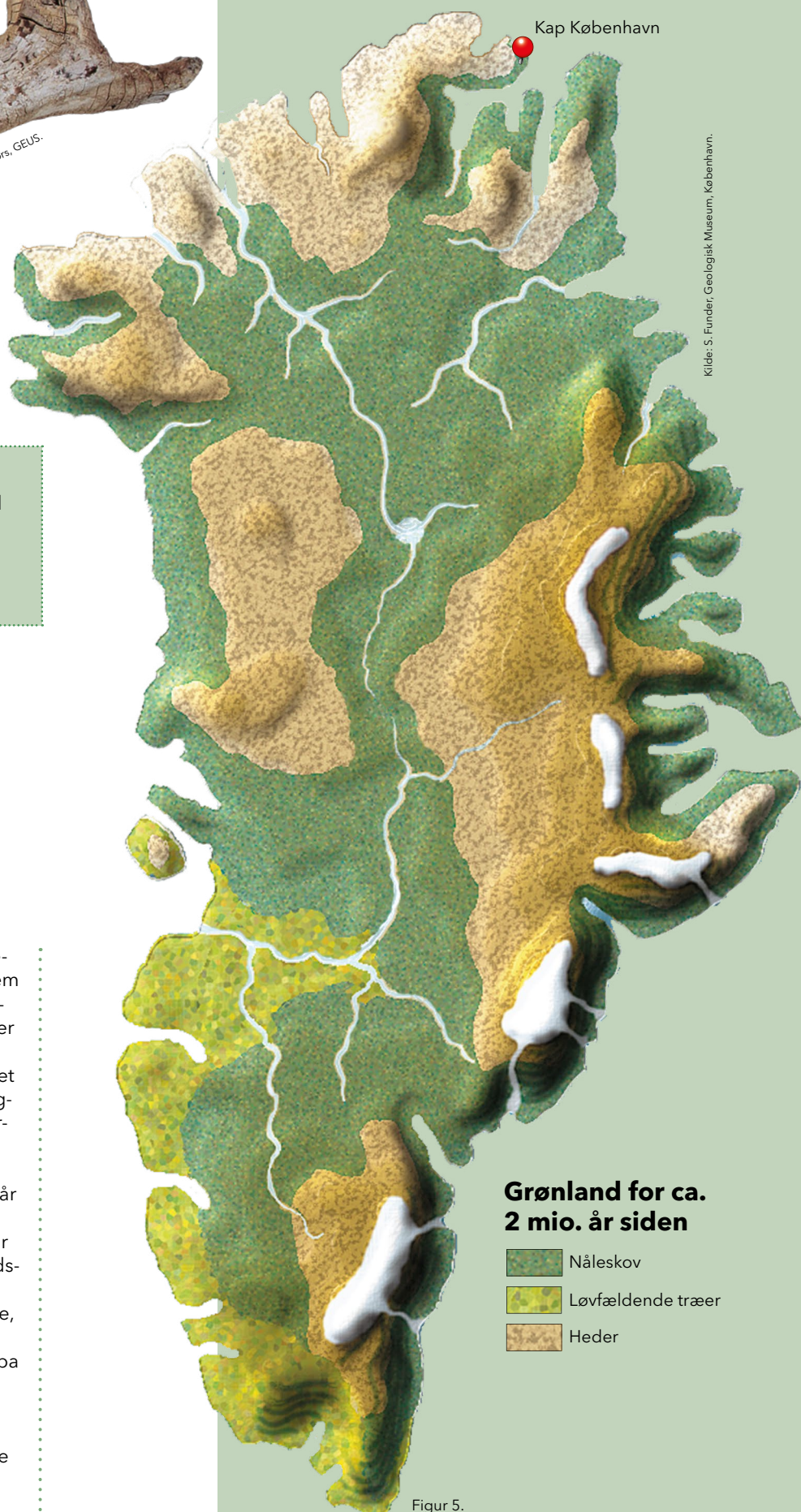
Foto: Peter Wama-Moors, GEUS.

Find mere +

Se animationer af Indlandsisens estimerede tilbagetrækning ved forskellige klimascenarier:

geoviden.dk/indlandsisen

temperaturer er perioden også kendetegnet ved, at klimaet har skiftet mellem kolde og varme perioder med en relativt jævn rytme (se figur 4). Perioder der også kaldes istider og mellemistider, hvoraf vi nu lever i den sidste slags. Det betyder, at selvom Indlandsisen har ligget der i 1,9 millioner år, har dens størrelse varieret med de kolde og varme perioder. For eksempel i den seneste istid, der sluttede for omkring 11.500 år siden. En istid kendt som Weichsel-istiden, og som startede for 115.000 år siden. Her blev det så koldt, at Indlandsisen voksede ud over Grønlands kyst og voksede sammen med den iskappe, der spredte sig henover Canada (Den Laurentiske Iskappe). Også Nordeuropa og dele af Rusland blev i den periode dækket af en iskappe, kendt som Den Fennoskandiske Iskappe. I en lang periode var en stor del af den nordlige halvkugle altså dækket af is (se figur 3). Af de tre iskapper er det dog kun Indlandsisen, der har overlevet den nuværende mellemistid. 



Kilde: S. Funder, Geologisk Museum, København.

Figur 5.

Grønland for ca. 2 mio. år siden

-  Nåleskov
-  Løvfældende træer
-  Heder

MASSE BALANCE

Størrelsen på Indlandsisen varierer helt naturligt fra år til år, hvor nogle år bringer vækst og nogle bringer tilbagegang. Klimaforandringerne er dog ved at skubbe til den balance.

Indlandsisen består af omkring 2,7 milliarder tons is. Det er så enorm en masse, at isen har mast undergrunden i Grønland sammen i sådan en grad, at midten af landet vil hæve sig en kilometer, hvis isen pludselig forsvandt. Det er imidlertid ikke et konstant billede, da isens masse varierer både fra sommer til vinter og fra år til år. Vinteren i Grønland betyder voldsom kulde, snefald og mørke, så her opbygger iskappen masse i form af ny sne og is. Sommeren medfører solskin og plusgrader, så her smelter noget af isen og sneen igen, hvilket betyder, at Indlandsisens totale masse bliver mindre. Indlandsisen har altså ikke en fast størrelse, men i stedet en såkaldt massebalance, der er et udtryk for isens totale masse over tid. Ligesom med en typisk bankkonto er der én stor indtægt, nemlig snefaldet om vinteren.

Derefter kommer en masse løbende små og store udgifter i månedens løb. For isens vedkommende afsmeltning fra selve overfladen, kaldet overflademassebalancen, og gletsjernes kælving af isbjerge i løbet af sommersæsonen, kaldet gletsjerkælving. Efter en sæson kan der være overskud, underskud eller ligevægt på kontoen.

25 år med massetab

Det er det, glaciologer og klimatologer kalder isens massebalance. Ved at holde øje med massebalancen kan man se, om Indlandsisen vokser, bliver mindre eller er i balance. Nogle af dem, der holder øje med Indlandsisens massebalance, er et dansk-grønlandsk hold un-

der projektet Programme for Monitoring of the Greenland Ice Sheet (PROMICE). Forskerne er fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), DTU Space og ASIAQ, og de følger massebalancen via data fra satellitter, GPS'er og målestationer placeret rundt på isen.

Ved hjælp af data på nedbør, solindstråling, isens hastighed og meget andet kan de se, at Indlandsisen har tabt masse siden slutningen af 1990'erne (se graf). Før da svarede indtægten (overflademassebalancen) omtrent til udgifterne (gletsjerkælvingen) over tid. Siden har det tiltagende varme klima dog forskudt balancen til den negative

” Efter en sæson kan der være overskud, underskud eller ligevægt på kontoen

side, så Indlandsisen generelt taber mere masse om sommeren, end der kan nå at blive opbygget om vinteren. Derfor bliver Indlandsisen mindre. Indlandsisens massebalance har været negativ i 25 ud af de 33 år fra 1986 til 2019, som PROMICE-forskerne har data fra. Det mest ekstreme år med massetab var i 2012, hvor Indlandsisen mistede over 400 gigatons (Gt) is (400 milliarder tons) til afsmeltning og kælving. Det er fire gange så meget vand, som der løber gennem Gudenåen på et år.

Tab og tilvækst

I praksis udregnes massebalance som en sum af alle de processer, der henholdsvis fjerner og tilfører masse til

isen. Udregningen deles op i to deludregninger, henholdsvis overflademassebalancen og gletsjerkælvingen. Der er nemlig stor forskel på, hvordan isen opfører sig inde på selve Indlandsisen, og når den kommer ud i gletsjerne, og derfor får man det mest præcise resultat af at dele det op i to:

1. Overflademassebalance

Massetilførsel ved nedbør, der falder på overfladen minus massetab ved smeltning. Overflademassebalancen har hidtil været positiv, så der hvert år er tilført mere, end der er smeltet fra overfladen, selvom det overskud er blevet mindre og mindre i de seneste årtier og i 2012 næsten ramte nul.

2. Gletsjerkælving

Massetab ved kælving af isbjerge. Gletsjerkælving regnes som den is, der brækker af gletsjernes fronter som isbjerge og siden smelter i havet. Værdien er altid negativ i og med, at isen i fjordene ikke limer sig selv fast på gletsjerne igen. 9



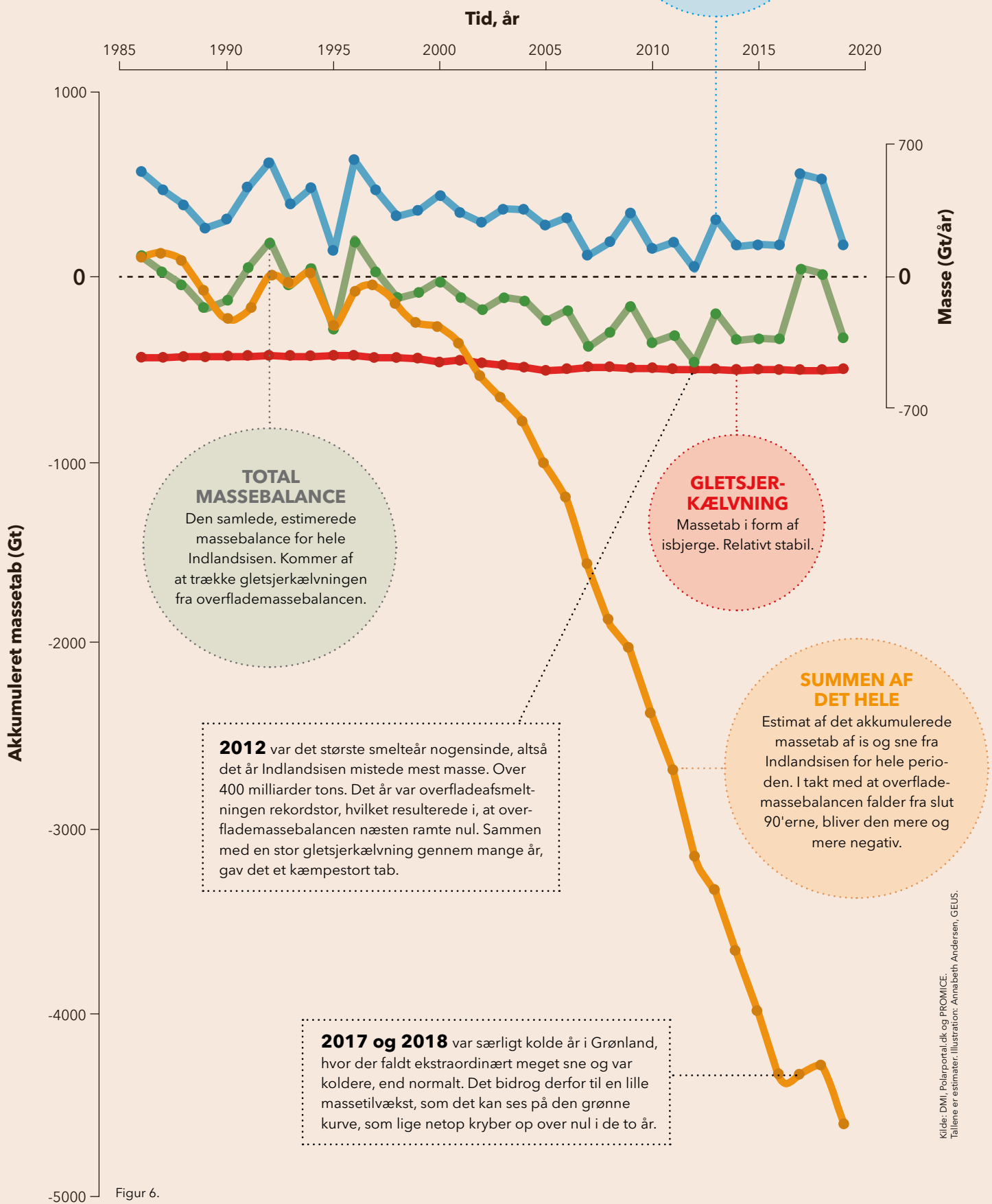
Find mere

Se videoer om PROMICE:
geoviden.dk/indlandsis

Læs mere om PROMICE:
promice.org

Se den daglige udvikling i massebalancen på Indlandsisen og meget mere:
polarportal.dk

Indlandsisens massebalance 1986 - 2019



Figur 6.

Kilde: DMI, Polarportal.dk og PROMICE.
Tallene er estimater. Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

0 10 km

ILULISSAT

6000 BC

KANGIA

1850

1875

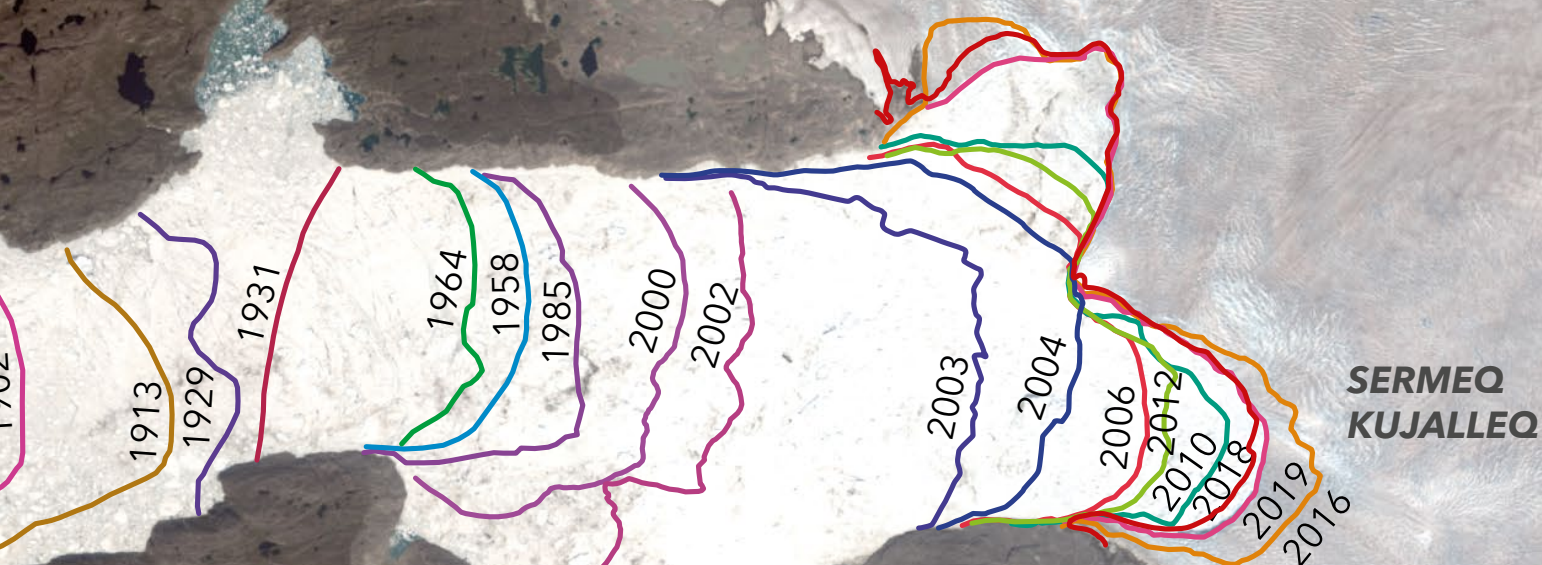
1880

1893

1902

Turbogletsjer spiller hovedrolle i massebalancen

Sermeq Kujalleq-gletsjeren i Grønland flyder så hurtigt, at den producerer flere isbjerge end nogen anden gletsjer. Derfor har den stor indflydelse på Indlandsisens samlede massetab.



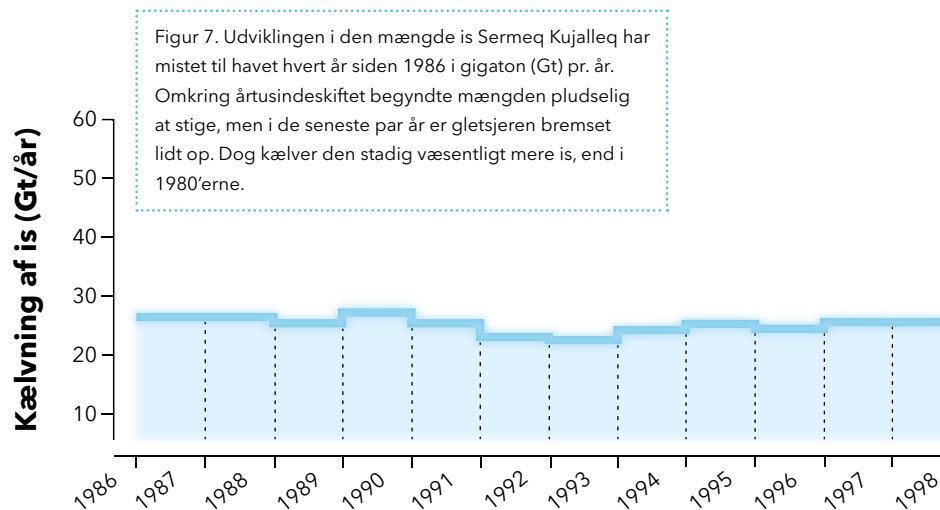
Lang tilbagetrækning

Siden 1851 er fronten på den store Sermeq Kujalleq-gletsjer (Jakobshavn Isbræ) rykket over 40 kilometer tilbage og har blotlagt hele Kangiafjorden. Fronten er gletsjerens yderste kant, hvorfra isbjergene kælver.

Nogle år taber gletsjerens ekstremt meget is, eksempelvis i smeltesæsonen mellem 2002 og 2003.

Mængden af isbjerge i fjorden foran Sermeq Kujalleq er så stor, at vandet ser hvidt ud på satellitfotos som her. Fronten ligger dog helt tilbage ved den pink linje (2019), som er lidt længere fremme end den har været i f.eks. 2016.

Illustration: Andreas Peter Ahlstrøm og Jacob Lind Berntsen, GEUS.



I bunden af isfjorden Kangia ved byen Ilulissat ligger Grønlands hurtigst flydende og mest kælvende gletsjer ved navn Sermeq Kujalleq (Jakobs-havn Isbræ). Gletsjeren har længe været en af de afgørende faktorer i Indlandsisens samlede massebalance, da den hvert år transporterer så gigantiske mængder is ud i havet, at udsving i kælvningen her kan forskubbe hele det samlede regnestykke for, hvor meget Indlandsisen vokser eller svinder ind. Sermeq Kujalleq er nemlig enorm - næsten en kilometer tyk og har en isfront på over syv kilometer, der danner en mur bagerst i Kangia-fjorden. Siden midten af 00'erne har gletsjeren afgivet mellem 40 og 50 gigatons (Gt) is til fjorden (40-50 milliarder tons), som derfra flød videre ud i havet (se figur 7). Til sammenligning afgiver den anden mest produktive gletsjer, ved navn Helheim Gletscher, mellem 25 og 35 gigatons årligt. Sermeq Kujalleq er faktisk så produktiv, at den formentlig alene har bidraget med omkring tre procent af den globale havniveaustigning hidtil, og står for omkring ti procent af alle de isbjerge, der flyder ud i havet fra Grønland hvert år. Sermeq Kujalleq er derfor vigtig at holde øje med, for hvis gletsjeren kælder særligt meget, kan det have indflydelse på hele Indlandsisens massebalance.

40 kilometers tilbagetrækning

Gletsjere er ligesom selve Indlandsisen højst dynamiske størrelser og varierer i størrelse fra år til år alt efter, hvor meget kælvning, eller massetab, der har været. Ligesom massen på Indlandsisen svinger fra vinter til sommer, vokser gletsjere også typisk om vinteren og bliver

mindre om sommeren. Ved hjælp af moderne satellitovervågning kombineret med gamle kort og observationer af frontens position tilbage fra 1850'erne kan man se, at Sermeq Kujalleq siden da er begyndt at miste mere is, end der blev tilført inde fra oplandet. Det har resulteret i, at gletsjerfronten i dag ligger over 40 kilometer længere tilbage, end den gjorde dengang (se illustration s. 12-13). En tilbagetrækning der er gået så hurtigt, at den kun kan tilskrives menneskeskabte klimaforandringer.

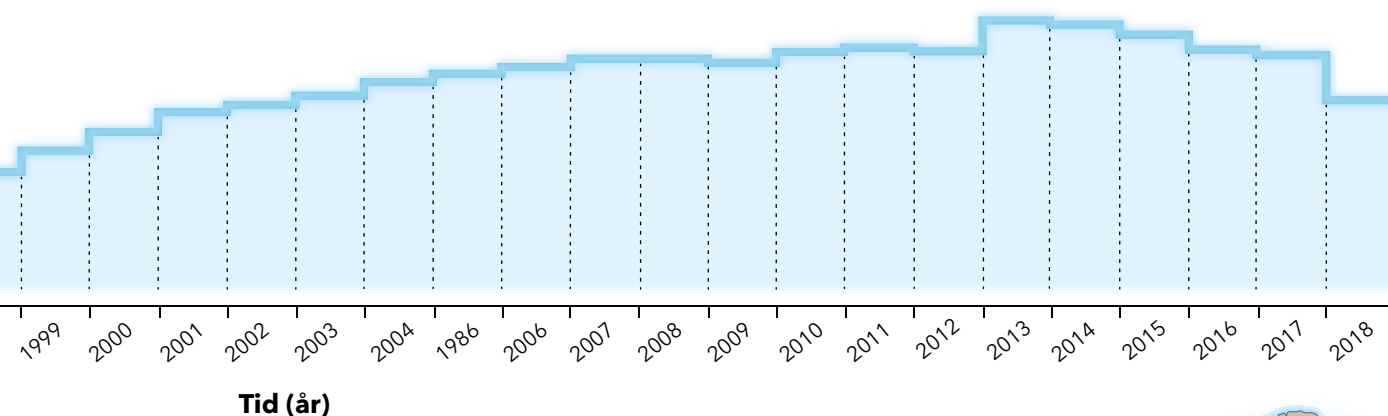
En flod af is

Sermeq Kujalleq bevæger sig typisk med omkring 40 meter i døgnet, altså mere end halvanden meter i timen. Hvilket er virkelig meget for en blok is, der vejer utallige milliarder tons. Gletsjeren opfører sig som en frossen flod, der fører is fra et stort opland med sig ud til havet. Sermeq Kujalleq dræner

” Her fungerer vandet som smøremiddel, så gletsjeren flyder endnu hurtigere

et område, der udgør omkring seks procent af hele Indlandsisens areal. Isen i det område er altså i konstant bevægelse ned mod gletsjeren, hvor det hele til sidst skal passere gennem

Sermeq Kujalleq kælvning 1986 - 2019



Modificeret fra Mankoff, et al 2019
Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

en relativt smal passage lige inden det når havet. Da samme mængde is, der før fyldte adskillige kvadratkilometer, nu skal gennem en lille, smal passage, stiger trykket voldsomt, og det samme gør isens hastighed, hvilket man tydeligt kan se på hastighedskort over Indlandsisens flydning (se side 16-17). Inde på midten af Indlandsisen bevæger isen sig langsomt, men når det nærmer sig kysterne, går det hurtigere og hurtigere, især hvis isen ender ud i en gletsjer, der flyder på vandet som for eksempel Sermeq Kujalleq.

Hvor meget en gletsjer kælder og hvor ofte, afhænger nemlig i stor udstrækning af, om gletsjeren er i kontakt med havvand. Det skyldes flere ting, blandt andet varme havstrømme, der pludselig bliver ført ind i fjordene, hvor de smelter isen nedefra. Isens kontakt med havvand betyder også, at trykket på isens nederste del ændres, når den går fra at hvile på jord til at være flydende, hvilket kan få isen til at slå revner. Derudover kan de kontinuerlige bevægelser op og ned fra tidevand, der stiger og falder, skubbe isen skæv og lave endnu flere revner og sprækker. Her kan både havvand fra neden og smeltvand fra isens egen overflade sive ind, hvilket også øger trykket inde i isen. Opsprækningen i toppen af gletsjeren øger desuden isens overfladeareal, så den modtager mere sollys og dermed også smelter hurtigere fra oven. Noget af det smeltvand løber direkte ud i havet, men langt størstedelen løber ned gennem de mange gletsjerspalter til bunden af isen. Her fungerer vandet som smøremiddel, så gletsjeren flyder endnu hurtigere henover underlaget, så isen inde fra

land bringes hurtigere ud i kontakt med vandet. Hele denne kæde af processer kan altså være selvforstærkende, så der over tid kælder flere og flere isbjerge og smelter mere og mere is fra gletsjeren.

Fremgang afblæser ikke klimakrise

I de seneste år er massetabet fra Sermeq Kujalleq dog faldet, så der faktisk er begyndt at kælder færre isbjerge fra fronten pr. år, end der gjorde i 00'erne og første halvdel af 10'erne. Siden sæsonen 2012-2013, hvor gletsjeren slog rekord og tabte over 50 gigaton, er den gået til "kun" at miste omkring 30 gigaton i 2018. Det er dog på ingen måde det samme som, at klimaforandringerne er standset og Indlandsisen er stoppet med at miste masse. Forskerne forventer nemlig en vis grad af variation til både positiv og negativ side på grund af skiftende vejrforhold som temperatur, nedbørsforhold og havstrømme.

Selvom klimaforandringerne skaber en tendens med mere og mere afsmeltning og kælvning fra gletsjerne i Grønland generelt set, så vil man altså stadig kunne forvente at se variationer fra år til år. I en lang årrække var de variationer altså bare af særligt negativ art. Den seneste sæson fra 2018 til 2019 ser dog ud til at være tilbage i den mere negative ende af skalaen igen. ⁹



Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

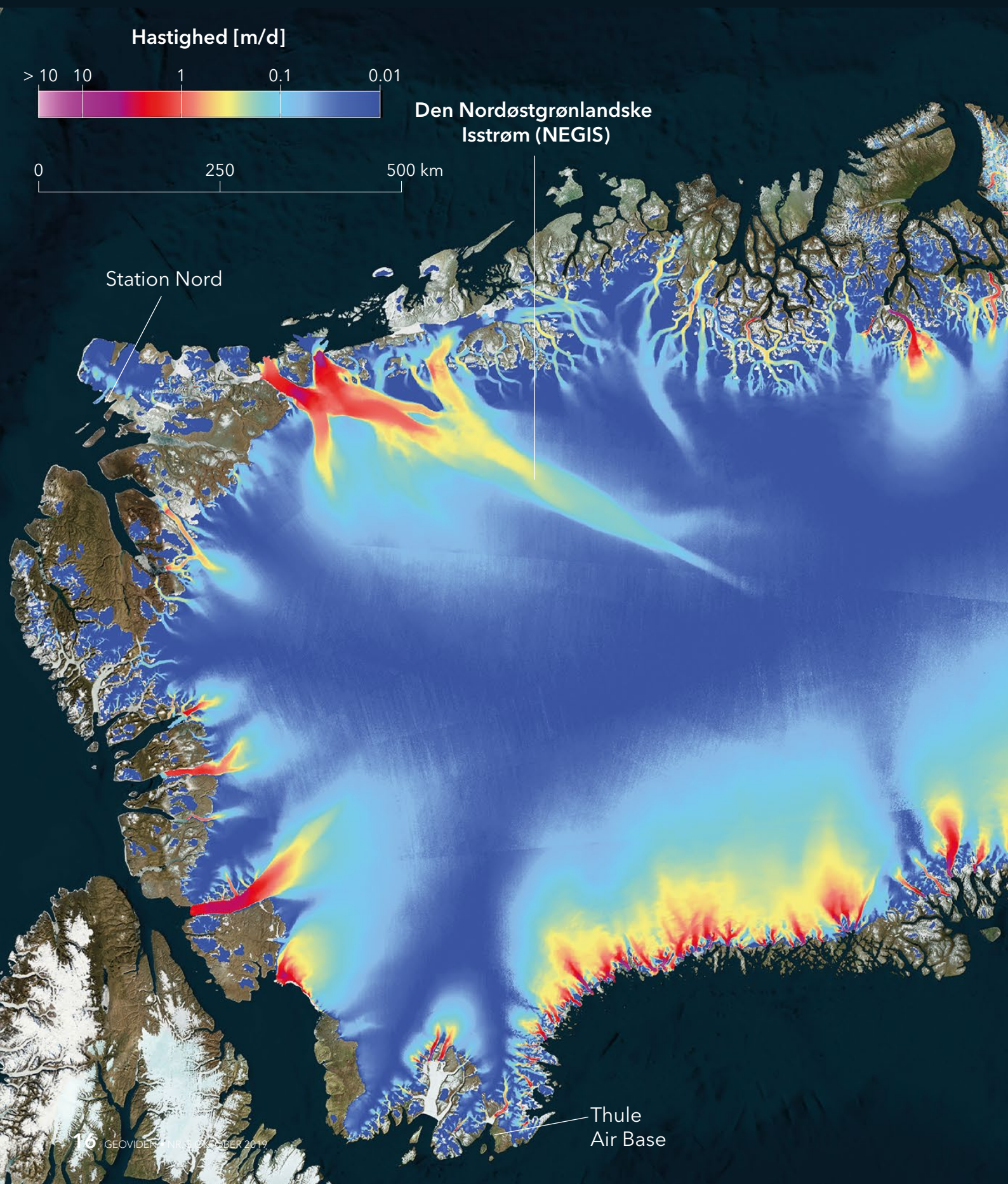
Figur 8. Gletsjeren Sermeq Kujalles eller Jakobshavn Isbræ ligger ud til Diskobugten og har et opland (rød markering) på 6 % af hele Indlandsisen, hvorfra al isen flyder ud mod Sermeq Kujalleq.

Find mere

Se seneste satellitfoto af gletsjerfrontens position på 20 af de største gletsjere i Grønland, herunder Sermeq Kujalleq, på:

polarportal.dk/groenland

Isens strømninger





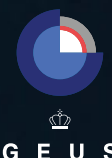
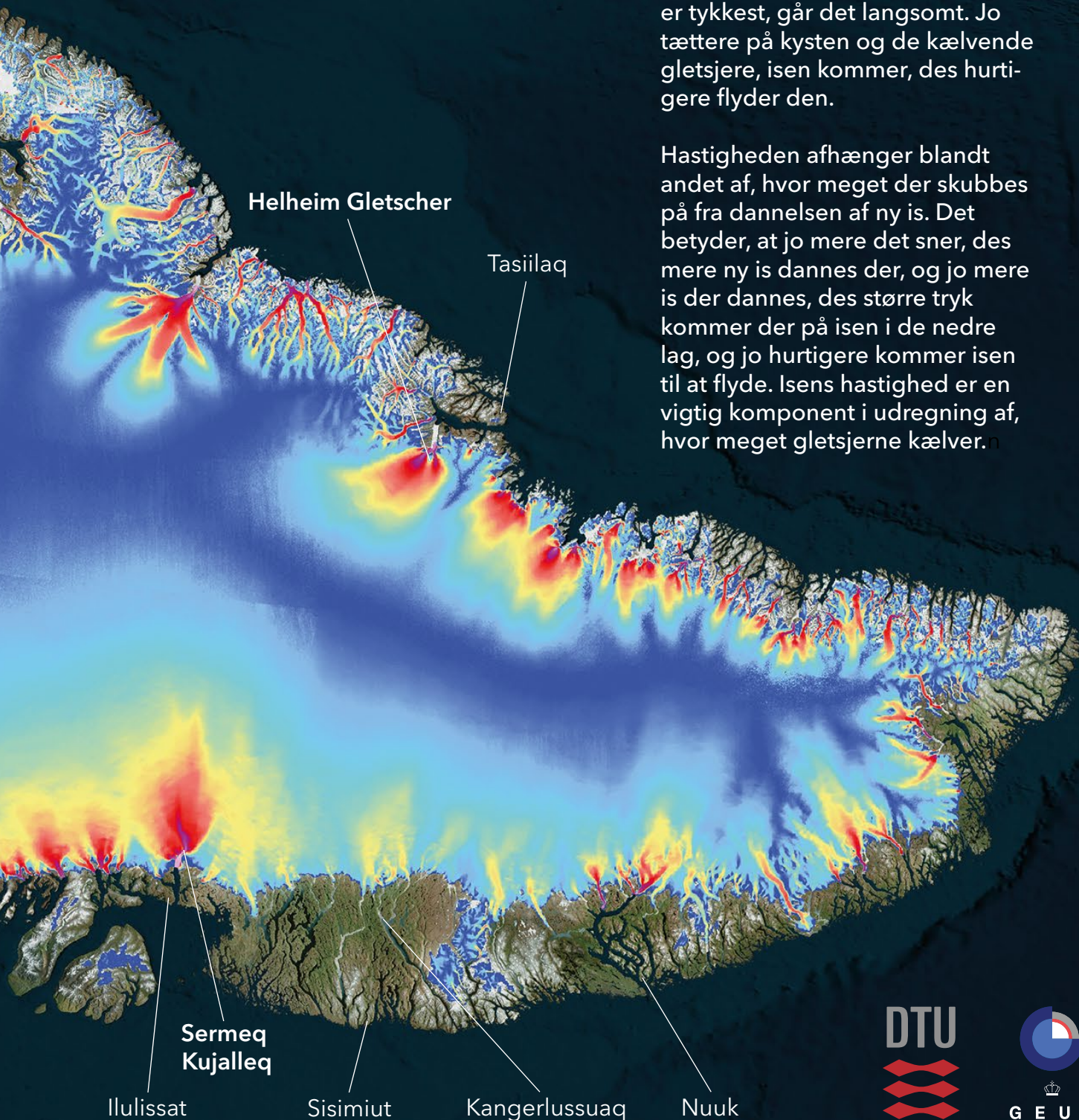
Find mere

Se animation af isens strømning

geoviden.dk/indlandsisen

Her kan du se, hvor hurtigt isen i Indlandsisen bevæger sig i meter pr. dag. Inde på midten, hvor isen er tykkest, går det langsomt. Jo tættere på kysten og de kælvende gletsjere, isen kommer, des hurtigere flyder den.

Hastigheden afhænger blandt andet af, hvor meget der skubbes på fra dannelsen af ny is. Det betyder, at jo mere det sner, des mere ny is dannes der, og jo mere is der dannes, des større tryk kommer der på isen i de nedre lag, og jo hurtigere kommer isen til at flyde. Isens hastighed er en vigtig komponent i udregning af, hvor meget gletsjerne kælver.



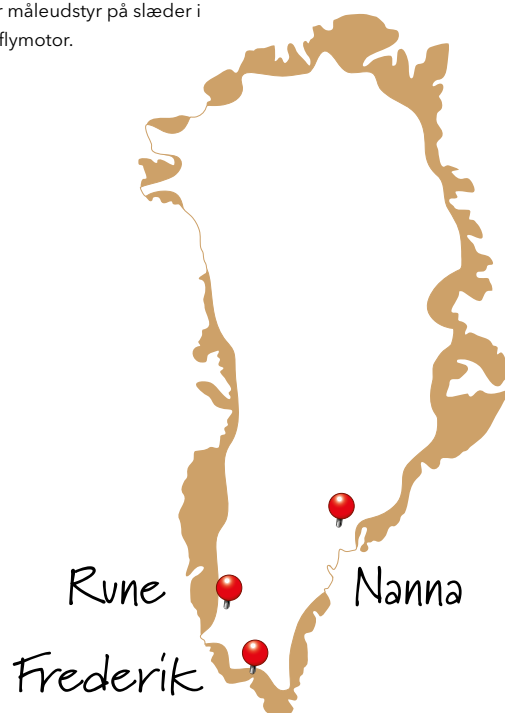
På feltarbejde i Grønland



Ekstremt vejr, isbjørnefare og fraværet af veje gør det yderst besværligt og krævende for forskere at udføre feltarbejde i Grønland. Til gengæld giver det oplevelser for livet, netop fordi alt er så anderledes.

Hør tre forskeres historier her.

Forskerne trækker måleudstyr på slæder i jagten på en tabt flymotor.



Rune Kraghede

Videnskabelig assistent
Aarhus Universitet, Institut for Geoscience

Arbejder med: Elektromagnetisk grundvands- og råstoftkortlægning, som indbefatter kortlægning i feltet, efterbehandling af data og instrumentudvikling.



Hvornår var du sidst på feltarbejde i Grønland, og hvad lavede du?

"I sommeren 2019 var jeg afsted tre uger på den sydlige del af Indlandsisen for at deltage i en eftersøgning af en flymotor, som blev tabt fra et fly i 2017. Flyet nødlandede i Canada, men for at fastslå hvad der gik galt, har man ledt efter motoren siden. Det var lettere sagt end gjort, da den var blevet begravet i flere meter sne og kunne ligge i et 15 km² stort område, som vi skulle finkæmme. Jeg kom med på eftersøgningsholdet i år sammen med den elektromagnetiske metode, jeg normalt bruger til kortlægning af undergrunden, og som vi nu skulle bruge til at afsøge området for metal. På den absolut sidste dag lykkedes det, i det vanskeligste område fyldt med gletsjerspalter. Vi så et tydeligt signal på vores udstyr, men havde ikke tid til at grave motoren fri. Der kom derfor et nyt hold afsted, som fik flymotoren gravet fri og sendt til undersøgelse."

Hvad er der særligt ved at være på feltarbejde i Grønland?

"At bytte diverse hoteller ud med et syvmands kuppeltelt omringet af en hjemmelavet isbjørnealarm og temperaturer ned til -20 grader. Under selve arbejdet skulle der også tages mange ekstra sikkerhedshensyn, der gjorde, at tingene tog meget længere tid. For eksempel skulle der først scannes for gletsjerspalter, hver gang vi skulle køre med magneten i et nyt område, da de kan være gemt under sneen."

Hvad er dit bedste minde fra feltarbejde i Grønland?

"Jeg glemmer aldrig den uendelige horisont på Indlandsisen - hvidt så langt øjet rækker. Inden jeg tog afsted, anskaffede jeg mig en drone. Selv når jeg fløj op i 100 meters højde og panorerede rundt, var der bare hvidt til alle sider."

Fotos: Rune Kraghede, AU og Dirk van As, Greenland Guidance.



Her ses lejren med det elektromagnetiske måleudstyr, Rune og holdet brugte til at finde flymotoren med.

Hvad er det vildeste, du har oplevet i Grønland?

"Sidste år havde GEUS gravet en kopi af motoren ned i isen, så vi kunne teste, om vi overhovedet fik et udslag på udstyret, når vi kørte henover den. Det gjorde vi ikke, selvom vi kørte og kørte, der hvor GPS-punktet var sat. Det viste sig, at isen, de havde begravet motoren i året forinden, havde flyttet sig næsten 70 meter ud mod havet. Så hele eftersøgningsstedet skulle rykkes med, før vi fik en positiv måling. Det synes jeg var ret vildt."

Nanna Karlsson

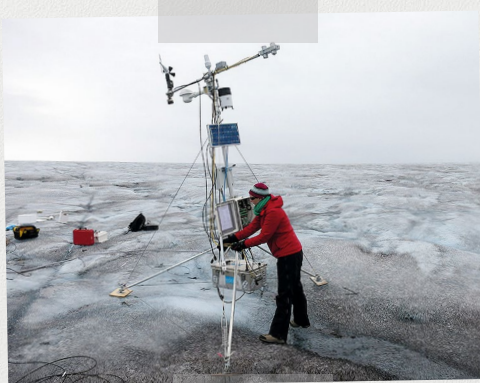
Seniorforsker
De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland (GEUS), Glaciologi og klima

Arbejder med: Klimaforandringernes indflydelse
på Indlandsisen.



Hvornår var du sidst på feltarbejde i Grønland, og hvad lavede du?

"Min seneste tur til Grønland var i august 2018, hvor jeg var i Tasiilaq i Østgrønland sammen med en kollega. Vi skulle efterse to vejstationer, der står oppe på Indlandsisen og indsamler data, som vi blandt andet bruger til at holde øje med Indlandsisens massebalance. En af stationerne havde ikke sendt data hjem i et stykke tid, så den var vores første prioritet. Efter at have ventet i flere dage på godt flyvevejr til helikopteren kom vi heldigvis afsted og fik gang i vejstationen igen."



Hvad er der særligt ved at være på feltarbejde i Grønland?

"At opleve hvor stort og øde Grønland er. Det er en helt speciel fornemmelse at være et sted, hvor der ikke er spor af mennesker eller menneskelig aktivitet i miles omkreds - man er vitterligt alene."

Hvad er dit bedste minde fra feltarbejde i Grønland?

"Det er ikke let at sige, hvad der er det bedste. En oplevelse, der stadig står klart, er dog min deltagelse i en ekspedition for nogle år siden, hvor vi kørte over 700 km på tværs af Indlandsisen. Hele dagen hver dag kørte vi over et fladt, hvidt landskab og man kom nærmest i en meditativ sindsstemning af at sidde og kigge på horisonten i timevis".

Hvad er det vildeste, du har oplevet i Grønland?

"Midt i al den storslåede natur er det nok i virkeligheden de små ting, der gør størst indtryk. Sidste forår var jeg i en teltlejr på Indlandsisen, hvor jeg en morgen kom ind i køkkenteltet og skulle til at tænde op. Her opdagede jeg, at det havde været så koldt, at selv vores små beholdere med citronsaft var gennemfrosne og sprunget. Vi fandt senere ud af at det havde været under -30 grader den nat."



Fotos: Nanna Karlsson, GEUS.

Transporten foregår tit med helikopter eller fly, da forskerne skal rejse over lange afstande for at nå til de forskellige vejstationer inde på isen. Stationerne skal tilses med jævne mellemrum, da de er hårdt udsat for vind og vejr. Desuden bliver de hver vinter mere eller mindre begravet i sne.

Frederik Næsby Sukstorf

Specialestuderende

Københavns Universitet, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning

Arbejder med: At undersøge klimaforandringernes konsekvenser for de naturlige miljøer i Grønland, samt hvilke potentielt positive effekter klimaforandringerne kan medføre i Grønland.

Hvornår var du sidst på feltarbejde i Grønland, og hvad lavede du?

"Det seneste feltarbejde, jeg har deltaget i, er til mit speciale, som foregik på et landbrug i Sydgrønland. Her dyrker de foder til deres får, og mit projekt går kort sagt ud på at undersøge mulighederne for at anvende gletsjermel i det grønlandske landbrug. Gletsjermel er fintmalet klippemateriale, som de mange gletsjere producerer, når de bevæger sig ned gennem dalene. Tanken er, at gletsjermelet måske kan forbedre jordens evne til at holde på vandet og tilføre nogle næringsstoffer, hvis man får det blandet i jorden. Det kommer nok ikke til at erstatte konventionelle inputs som kunstgødning og kalk, men det kan måske være et supplement."

Hvad er der særligt ved at være på feltarbejde i Grønland?

"At udføre feltarbejde i Grønland stiller store krav til ens planlægnings- og logistikevner, for eksempel når der skal indkøbes proviant til mange ugers ophold på en afsondret feltstation. Eller når man skal have fragtet tonsvis af udstyr med helikopter langt ind i fjeldet og tilbage igen. I Grønland skinner det virkelig igennem, at tingene foregår på naturens præmisser, hvilket

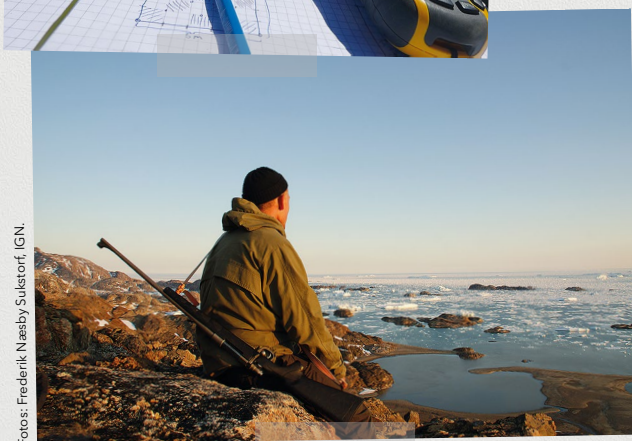
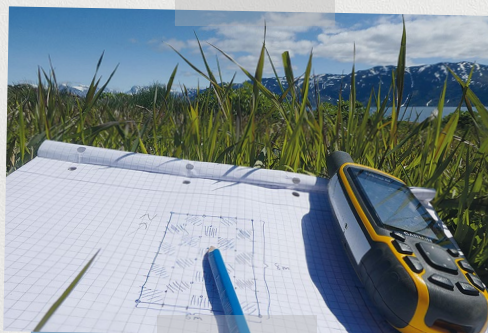
indgyder en stor ydmyghed - og sommetider også frustration, når havisens bevægelser eller tæt tåge gør, at man må vente et par dage med at komme hjem. Derudover er det nødvendigt at være meget mere opmærksom på sin egen og andres sikkerhed."

Hvad er dit bedste minde fra feltarbejde i Grønland?

"Stilheden, den overvældende smukke og barske natur, møder med fantastiske mennesker og godt kammeratskab. At sidde i køkkenteltet om aftenen og få en whisky efter en lang arbejdsdag og fortælle røverhistorier."

Hvad er det vildeste, du har oplevet i Grønland?

"Da vi vovede os ind i en isgrotte ved fronten af Mittivakat-gletsjeren. Det var fantastisk smukt, med is i hundredvis af blå nuancer, men også ret skræmmende, da det knager og brager, fordi isen hele tiden er i bevægelse. Da vi kom tilbage et par uger efter, var grotten styrtet sammen, hvilket jo får en til at tænke, om det nu også var smart at begive sig derind."



Fotos: Frederik Næsby Sukstorf, IGN

En riffel er ofte en fast del af feltarbejdet, da forskerne skal kunne forsvare sig, hvis der kommer en isbjørn for tæt på.



Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

Klimaforskningen startede med en tom ølflaske

En ung forsker med et nyt instrument kombineret med en kold krig blev startskuddet på klimaforskning med iskerner, som stadig er i fulde omdrejninger i dag.

Lørdag den 21. juni i 1952 sad Willi Dansgaard i sin have og fornemmede, at det trak op til regn. Han var for nyligt blevet ansat ved det daværende DMI med ansvar for det nyindkøbte massespektrometer. En fin og dyr maskine, der kunne adskille og måle indholdet af grundstoffer i det, man puttede ind i den.

Men hvad skulle man måle på? Som ansvarlig for det nye instrument var Willi Dansgaard altid på udkig efter næste emne, han kunne måle på. Måske regnvand fra den byge, der nu nærmede sig? Mon der var forskel på regnvand fra én regnbyge til den næste? Da Willi tilfældigvis havde en tom ølflaske ved hånden, blev den hurtigt udnævnt til opsamlingsaggregat, og forsøget var i gang.

Regnbygen viste sig ikke at være alene, men udviklede sig til en hel stribe kraftige byger henover hele weekenden. Om mandagen troppede Willi derfor op på arbejdet med en stor samling flasker, potter og pander med prøver fra weekendens nedbør. Regnvandsprøverne blev kørt gennem massespektrometret en efter en, og resultatet blev starten på et helt forskningsfelt. Den dengang 30-årige Willi Dansgaard havde nemlig fat i noget stort.

"Han er mildest talt en superstjerne," siger Anders Svensson, nutidig forsker og lektor i Niels Bohr Institutets Afdeling for Is, Klima og Geofysik. Med andre ord burde man have hørt om Willi Dansgaard. Er det ikke tilfældet, fortæller Anders Svensson heldigvis gerne.

"Det var Willi Dansgaard, der opfandt den såkaldte δO^{18} -metode, vi stadig bruger i dag til at måle fortidens temperatursvingninger ved hjælp af iskerner. Samtidig kan man finde selve isens alder med samme metode, og begge dele er enormt vigtigt, da det giver os et sammenligningsgrundlag for de klimaforandringer, vi ser i dag," fortæller han. (Se forklaring af δO^{18} -metoden s. 26-27)

Willi Dansgaards målinger af weekendens regnvand viste nemlig, at der er en lille forskel i regnvandets indhold af iltisotoper, altså iltaoomer med forskellige antal neutroner, alt efter hvor varmt eller koldt det er i atmosfæren på det tidspunkt, regnen blev dannet.





Anders Svensson

Stilling

Lektor ved Københavns Universitet,
Niels Bohr Institutet,
Afdeling for Is, Klima og Geofysik

Uddannelse

Cand. scient. i fysik med ph.d. i
geofysik

Arbejde

Fortolkning af klimasignalet i
iskerner fra Grønland og Antarktis

"Han fik så den tanke, at hvis det gjaldt nutidens regnvand, gjaldt det formentlig også fortidens. Så hvis man kunne måle på den isotopiske sammensætning af noget gammelt regnvand, kunne man altså finde ud af, hvor varmt det var, da det blev dannet," forklarer Anders Svensson.

"Hvor finder man gammelt regnvand?" spørger han retorisk. "Det gør man i gletsjeris. Og hvor finder man meget gammel gletsjeris? Det gør man i Indlandsisen."

En hemmelig by under isen

Samme tanke havde Willi Dansgaard fået tilbage i 50'erne, og derfor var det hans held, at Den Kolde Krig ansporede amerikanerne til at starte et vildt projekt på, eller rettere i, Indlandsisen. Dengang var der nemlig ingen, der havde boret dybt ned i Indlandsisen før, men nu ville amerikanerne grave 4000 kilometer gange under Indlandsisen, hvor der skulle ligge omkring 600 atommissiler klar. I tilfælde af, at Den Kolde Krig mod Rusland pludselig skulle blive varm. Mellem 1962 og 1966 byggede og udviklede de derfor en hel by ved navn Camp Century mange meter under isen øst for Thulebasen. Byen skulle tjene som første led i den store missilplan, der for de få indviede var kendt som Project Iceworm.



Læs mere

Læs Willi Dansgaards egen fortælling om sit forskningsliv i bogen 'Frozen Annals - Greenland Ice Cap Research', 2004, Narayana Press.

Da ingen rigtig havde interesseret sig for at undersøge dynamikken i isen før, havde militæret brug for hjælp til at analysere den, så man kunne planlægge tunnellerne bedst muligt. Derfor fik amerikanerne arrangeret et stort iskernebor nede i campen, som borede den første iskerne nogensinde taget fra fra top til bund i Indlandsisen. I alt 1320 meter is.

Da Willi Dansgaard på det tidspunkt var blevet ret velrenommeret inden for forskning i gletsjeris, fik han lov til at få prøver fra hele iskernens længde. Han var begejstret: Her lå alle informationerne om tidligere tiders klima pænt og sirligt ordnet i lag i en over 1000 meter høj, uforstyrret islagkage, hvor det bare var at starte fra en ende af. Så det gjorde han.

” Hvor finder man gammelt regnvand? Det gør man i gletsjeris

Resultatet blev den første kontinuerlige klimakurve over fortidens temperatursvingninger 130.000 år tilbage i tiden (se figur 9). Her kunne man pludselig se ganske tydeligt, at den seneste istid, kaldet Weichel-istiden, begyndte for omkring 115.000 år siden. Lige omkring der, hvor den nederste is, og dermed den ældste, blev dannet. Kurven viste desuden, at istiden toppede for omkring 20.000-25.000 år siden, hvorefter det begyndte at blive varmere, indtil istiden sluttede for omkring 11.500 år siden.

Amerikanernes Project Iceworm førte derudover til en indsigt i, at isen bevæger sig konstant ned- og udefter mod kysten. Det blev ret hurtigt tydeligt, og endda helt uden iskerneboringerne, da istunellerne i Camp Century ubønhørligt blev mast sammen af isen ovenfra, og man måtte efter nogle års forgæves forsøg på at standse sammenpresningen droppe hele projektet. Iskernen, som Willi Dansgaard fik fingrene i, har dog siden startet et helt forskningsfelt, der har bragt uvurderlige mængder viden om blandt andet:

- Temperatur- og nedbørsmønstre gennem tiden
- Atmosfærens indhold af drivhusgasser og andre stoffer
- Fortidige storme og deres styrke via støv blæst ind over isen
- Vulkanudbrud over hele kloden, hvis svovlforbindelser opfanges som syreholdige lag i isen.

Nutidens iskerneforskning

Der har været syv større, koordinerede dybe iskerneboringer rundt om på Indlandsisen siden den i Camp Century i 1960'erne. Alle har de haft som primært formål at finde ældre og ældre is, der kunne afsløre klimaet endnu længere tilbage. "Der er flere gange boret helt ned til den ældste is, der er omkring 130.000 år gammel, altså svarende til den is Willi Dansgaard målte på fra Camp Century," fortæller Anders Svensson.

"Vi har fundet is, der er ældre, men ikke i en lang uforstyrret sekvens. Under de cirka 130.000 år er lagene blandet sammen på grund af isens flydning henover undergrunden, og derfor kan vi ikke bestemme isens alder."

Derfor er det efterhånden ikke sandsynligt, at man overhovedet kan finde ældre is, der er af en kvalitet der gør, at man stadig kan bruge δO^{18} -metoden, fortæller forskeren.

Find mere

Se daglige data fra Camp Century og en video om nutidens monitorering og forskning på stedet:

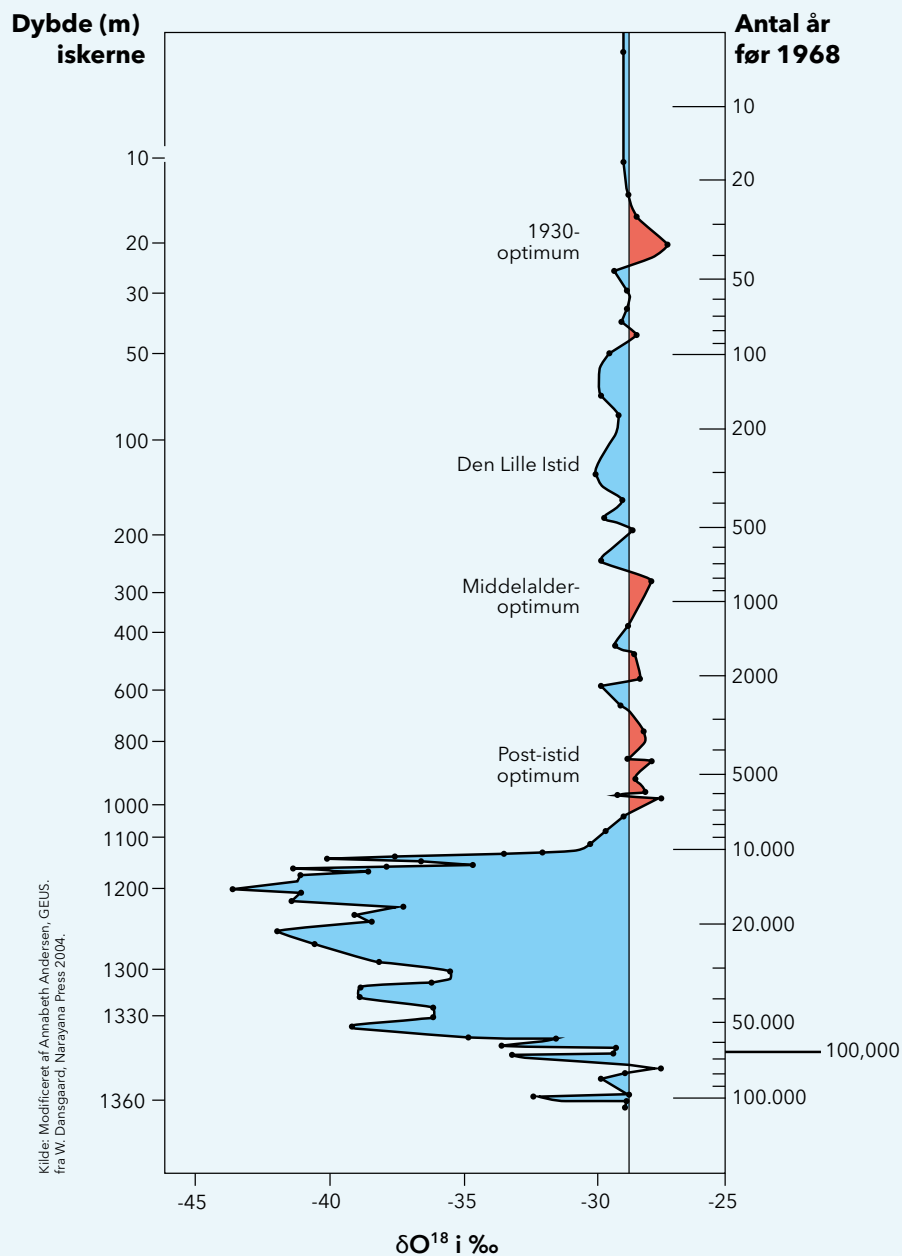
campcenturyclimate.dk

A: Iskerneboret i Camp Century, som borede verdens første iskerne.

B: Hovedgaden i Camp Century, der forbandt opholdsområderne med de andre sektioner.

C: Indgangen til Camp Century.

D: De små biler på larvefodder bandt den ret store lejr sammen og fragtede folk og sager gennem de lange gange.



Figur 9. Grafen Willi Dansgaard lavede med resultaterne af sine iltisotopmålinger på Camp Century-iskernen. Her ses et stort fald i δO^{18} -værdien fra omkring 11.000 år siden, og som først falder igen for over 100.000 år siden. Det svarer til den seneste istid. Samtidig kan man se flere kortere udsving til både varmere og koldere vejr inden for de seneste ca. 10.000 år. Jo længere tilbage i tiden man kommer, des mere sammenmaste bliver islagene, og det ses også på grafen. Den tykke streg med 100.000 år nederst t.h. er tilføjet efter en senere og mere præcis udregning, der viste, at 100.000 års-grænsen lå der i stedet.



Fotos: US Army.

At læse en frossen dagbog

Alt vand indeholder en blanding af vandmolekyler, hvor langt de fleste har et almindeligt iltatom (O^{16}) bundet til de to hydrogenatomer, så det danner H_2O .

Der er dog også altid en lille del af vandmolekylerne, der har fået et lidt tungere iltatom, nemlig isotopen O^{18} , som findes naturligt, blot i langt mindre mængder end O^{16} . Det tunge iltatom har flere neutroner i sin kerne, end det almindelige iltatom, og det gør, at det har en smule sværere ved at fordampe. Der skal altså højere temperaturer til, før vandmolekylerne med de tunge iltisotoper fordampes og danner nedbør. Nedbør der siden er blevet til is i Indlandsisen, hvor forskellen mellem de to iltisotoper stadig er lagret i hvert islag. Forskellen kaldes også 'delta', som skrives ' δ '.

Hvert år er en pukkel på kurven

Ved at skære prøver af en iskerne og smelte dem kan man derfor måle på forholdet mellem O^{16} og O^{18} i datidens nedbør. Koldt vejr giver færre O^{18} -isotoper og varmt vejr giver flere O^{18} -isotoper, og udviklingen i det forhold op gennem iskernen kan derfor aflæses som udvikling i temperatur i den givne periode, man kigger på. Som tommelfingerregel siger man, at δ falder med cirka 0,7 promille for hver grad Celsius temperaturen i atmosfæren falder.

Isens alder aflæses

Hvilken periode, der er tale om, kan aflæses på samme måde, ved hjælp af forskellen i iltisotoper. Da skiftet fra vinter til sommer medfører en stor temperaturforskel, er der tilsvarende udsving i δ -kurven fra én sommer til den næste. Hvert enkelt år kan derfor aflæses som en pukkel på kurven, hvor δ stiger (se figur 10). Derfor er det bare at tælle tilbage fra toppen af isen, som man ved svarer til nutiden. Tyve pukler svarer til tyve år og så videre.

Fortidens klima

Ved at analysere isen i Indlandsisen kan man komme 130.000 år tilbage. Ved at lave samme nummer på den endnu ældre is på Antarktis kan man komme op til 800.000 år tilbage i tiden. Analyser af klimaet fra endnu længere tilbage stammer typisk fra sedimentkerner fra dybhavene.

$$\delta O^{18} = \frac{R_{\text{prøve}} - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ ‰}$$

$$R = \frac{O^{18}}{O^{16}} \quad \text{Forholdet mellem de to iltisotoper.}$$

SMOW

Standard Mean Ocean Water. En fastsat standardværdi for isotopforholdet i havvand, som man kan sammenligne med.

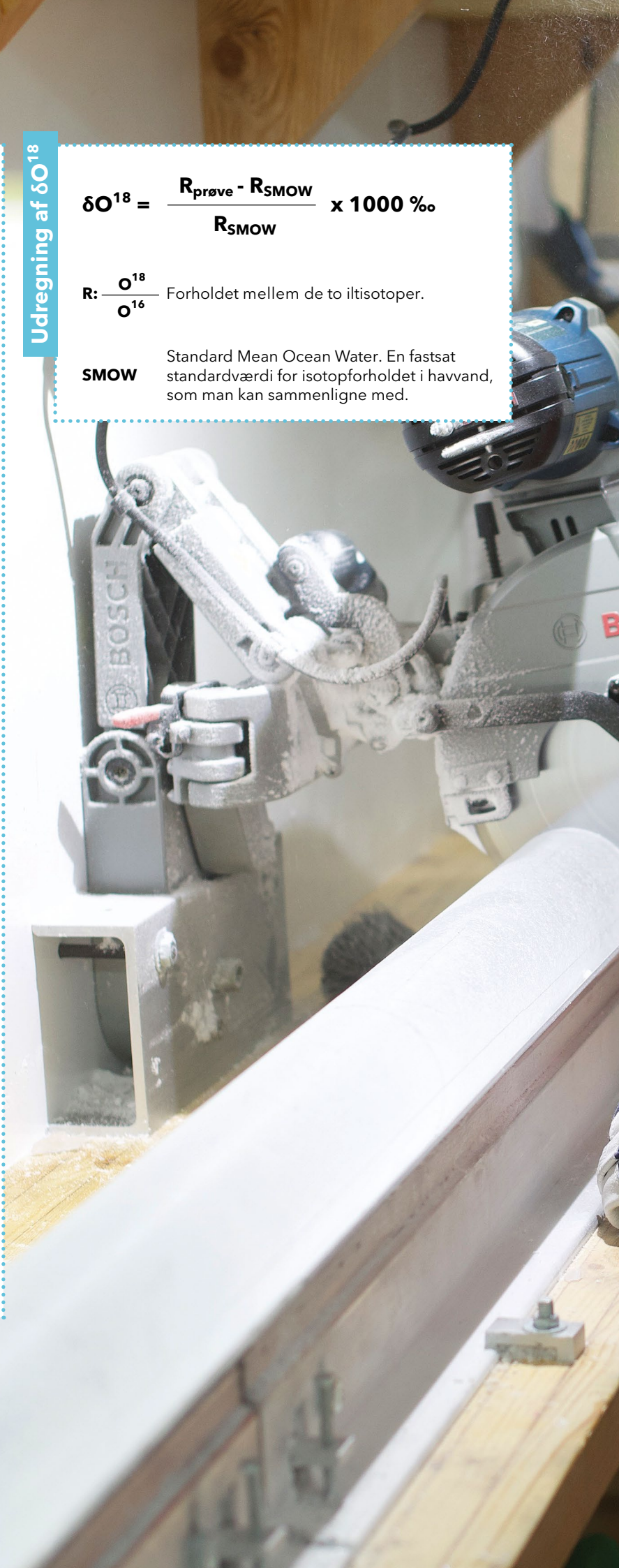




Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

↓ δO^{18} -kurve

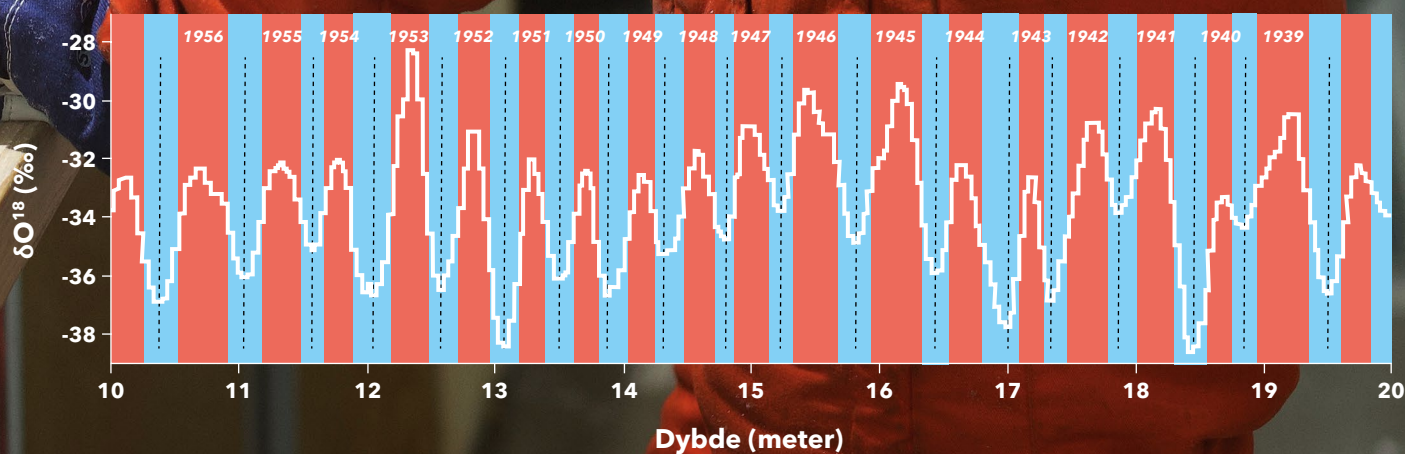
Figur 10. Her er et eksempel på en δO^{18} -analyse på en iskerne.

De blå felter med lave δ -værdier indikerer vinter.

De røde felter med højere δ -værdier indikerer sommer.

Mellem de stiplede linjer er der gået et år.

Eksemplet her er fra de øverste 10 til 20 meter af en iskerne fra boringen Crête på midten af Indlandsisen. Stykket svarer til årene 1957 og tilbage til 1938. Her kan man blandt andet se, at vinteren mellem 1940 og 1941, hvor 2. Verdenskrig var på sit højeste, var særligt kold i Grønland, da δ -værdien er meget lav.



Kilde: Modificeret fra Nils Bohr Institutet.
Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

EGRIP-lejren i solnedgang. Den store kugle er opholdsstue, køkken og arbejdsrum. En lejr på Indlandsisen har en levetid på fem til ti år, da sneen uundgåeligt vil begrave den med tiden. Man udskyder processen ved bl.a. at placere teltene med en vis afstand, da det gør det sværere for sneen at fyge dem til.

Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

"Vi er derfor nok nået grænsen for, hvor langt tilbage i tiden vi kan komme ved hjælp af isen i Indlandsisen," siger Anders Svensson.

Forskerne følger strømmen

Derfor har han og forskerkollegerne nu skiftet fokus. De borer stadig iskerner, bare et nyt sted og med et nyt formål.

"Der mangler data på, hvordan de store isstrømme i Indlandsisen opfører sig, og navnlig hvordan de reagerer på klimaforandringer. Så det er vi gået i gang med at finde ud af ved at analysere iskerner i Den Nordøstgrønlandske Isstrøm," fortæller Anders Svensson.

Den Nordøstgrønlandske Isstrøm (NEGIS) er nemlig den største isstrøm i Indlandsisen, der starter næsten helt inde på

Tidsfordriv på isen

Når der ikke arbejdes i ishallerne eller med at vedligeholde lejren og afholde den fra at blive sneet inde, har forskerne fri. Men hvad laver man, når der ikke er andet end massiv isrøken til alle sider? I EGRIP-lejren foregår der ting som:

- Bordfodbold
- Cross country skiing
- Gå tur på landingsbanen
- Volleyball og stikbold
- Bygge iglo
- Hjælpe til i køkkenet
- Golf
- Bowling i ishallen
- Koncert spillet på is
- Vinterolympiade med bl.a. ringridning på snescooter

” Jo hurtigere isen flyder, des flere og større gletsjerspalter kommer der også

midten af isen (se kort s. 16-17). Der er mange ubekendte ved isstrømmen, blandt andet hvorfor den starter så langt inde i landet, når alle de andre isstrømme først begynder at flyde hurtigt ude mod kysten. Projektet hedder East GRIP (EGRIP), som står for East Greenland Ice-core Project, og det kører nu på fjerde år.

"Man ved efterhånden ret meget om isens dynamikker i gletsjerne ude ved kysten, og hvordan de påvirker havstigningerne. Men da gletsjerne fodres af isstrømmene, hænger det hele jo sammen. Derfor er det vigtigt at kende bevægelsesdynamikkerne i isen længere inde, for at kunne sige, hvordan Indlandsisen som helhed reagerer på et ændret klima på den lange bane. Også over de næste årtusinder, som er den skala isstrømmene opererer på," siger han.

EGRIP-lejren ligger ved isstrømmens start lidt syd for den 76. breddegrad, cirka 400 kilometer inde på Indlandsisen (se

Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

kort s. 22). Her flyder isen med cirka 20 centimeter om dagen, hvilket er langsomt i forhold til de omkring ti meter, den bevæger sig dagligt ude ved kysten. Anders Svensson fortæller, at det mest optimale rent forskningsmæssigt ville være at lægge lejren længere ude mod kysten, hvor man kunne studere hurtigere strømmende is, men holdet var nødt til at lave et kompromis på grund af sikkerheden.

”Jo hurtigere isen flyder, des flere og større gletsjerspalter kommer der også, og det er farligt at lægge en lejr midt i. Ved lejren er der ingen gletsjerspalter, så det er et sikkert sted for fly at lande og for videnskabsfolk at operere.”

Livet og arbejdet under isen

Selve lejren er genbrug fra det tidligere iskerneprojekt North Greenland Eemian Ice Drilling (NEEM) i Nordvestgrønland, og blev i 2015 sat på store slæder og trukket af en karavane af bæltekøretøjer tværs over Indlandsisen til det sted i starten af NEGIS, holdet havde udset sig (se kort s. 22).

”Det koster enormt mange penge at få fløjet den gamle lejr ud og en ny lejr ind, og derfor kunne det bedst betale sig at trække den gamle hen til NEGIS,” fortæller Anders Svensson.

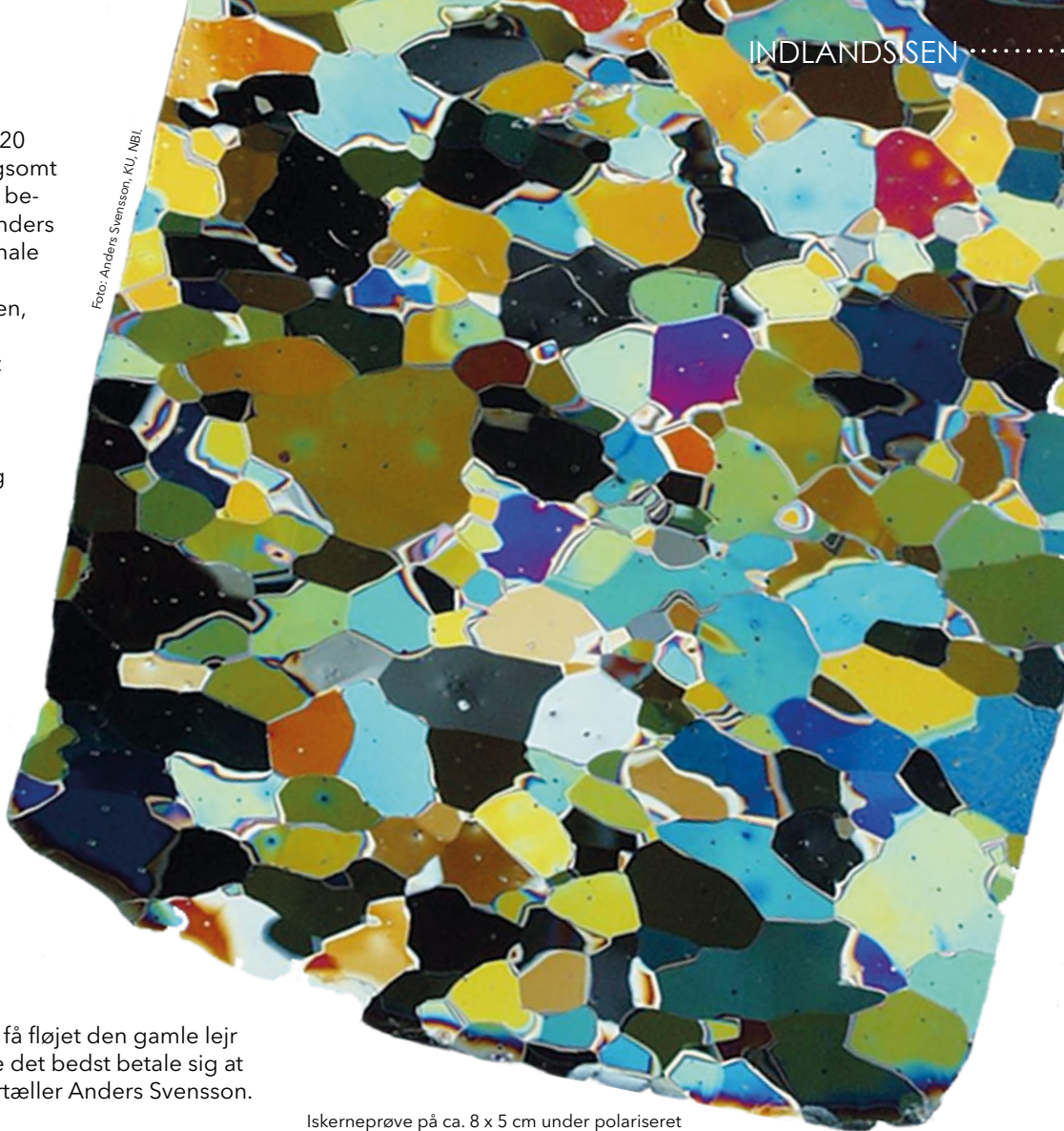
Det gjaldt dog kun den del af lejren, holdet bor og opholder sig i, når de har fri. Selve arbejdslokalerne skulle bygges fra ny, vel at mærke ti meter under isen.

”På den måde er der nemlig en rimeligt konstant temperatur på omkring -20°C, så iskerne holdes dybfrosne imens vi arbejder med dem,” fortæller lektoren.

Derfor gik første del af projektet ud på at grave kæmpe huller i isen, puste gigantiske luftballoner op nede i dem, smide sne oven på og så lukke luften ud af ballonerne, så de efterlod et hulrum med massivt snetag. Så har man en snehal egnet til iskerneboring. Dernede foregår arbejdsdagen derfor med fuld arktisk dress code af dunjakker, støvler, huer og handsker flankeret med termokander af kaffe og te. Hver sommer siden 2015 er der rejst et hold på omkring 20-30 forskere op til lejren, hvor der er blevet arbejdet til sommeren gik på hæld, og vinterkulden og mørket igen gør det for vanskeligt at opholde sig på isen.

Helt konkret går projektet ud på at bore en iskerne fra toppen til bunden af isen og analysere, hvordan isens flydedynamikker ændrer sig på vej ned. Iskerneboret er cirka ti meter langt, hvoraf de tre nederste meter udgør et kammer til den borede kerne. Hver gang boret har gnavet sig tre meter dybere ned i borehullet, hiver man det op og tager iskernen ud. Kernen bliver så skåret op i mindre stykker på omkring en meter, der saves flere mindre prøver ud fra, som sendes videre til de forskellige målinger.

Foto: Anders Svensson, KU, NEI



Iskerneprøve på ca. 8 x 5 cm under polariseret lys, som får de enkelte iskrystaller til at lyse op.

Isen begyndte at blive helt vildt svær at knække

Krystaller afslører isens flydemønster

En af målingerne, isen udsættes for, er analyse af krystalorienteringen (se foto til venstre). Her slibes isstykkerne til små, papirstynde prøver på en særlig slibemaskine og kommes i en anden maskine, der beskyder isprøven med polariseret lys. Det får de enkelte iskrystaller til at lyse op i de mest utrolige farver, og den tynde plade af gennemsigtig is ligner pludselig et stykke abstrakt kunst. Farverne skyldes, at iskrystallernes forskellige orientering i isen bøjer lyset på hver sin måde, som i en prisme. De krystaller, der vender i samme retning, får derfor samme farve, så på den måde kan farverne bruges til at vurdere, hvor ensrettede iskrystallerne er. Jo mere ensrettede, og dermed ensfarvede, de er, des nemmere glider isen, helt overordnet set.

Ved at sætte den information sammen fra alle prøverne fra top til bund i boringen får man altså et udsnit af hele isstrømmens bevægelsesmønster. Data som netop mangler i isflydemodeler for Indlandsisen.

Resultaterne fra EGRIP-boringen tyder indtil videre på, at isflydningen i NEGIS muligvis stadig er ved at tilpasse sig overgangen fra sidste istid til det nutidige klima for 11.500 år siden.

Isstrømmene ser altså ud til at arbejde på meget længere tidsskalaer end gletsjerne, som reagerer meget hurtigt på ændret klima. Påvirkningen fra klimaforandringerne, vi ser i dette århundrede, kan derfor med stor sandsynlighed også ses langt ude i fremtiden.

Arbejdet må afblæses

Isen er cirka 2600 meter tyk der, hvor forskerne borer, og i sommeren 2019 nåede de ned i 2122 meters dybde. De skulle gerne være nået længere, men isen begyndte at gøre knuder, fortæller Anders Svensson:

”Vi er faktisk blevet nødt til at stoppe boringen for i år et par uger tidligere end planlagt. Isen begyndte at blive helt vildt svær at knække, så knivene nederst i boret ikke kunne skære kernen over, og så kan vi ikke komme længere. Vi ved ikke hvad det skyldes,” forklarer Anders Svensson.

”Men da det ikke er noget, vi har oplevet ved tidligere dybdeboringer andre steder, er det sandsynligt, at det har at gøre med isens flydning i isstrømmen. Så måske har vi allerede lært noget nyt om isen i isstrømme som NEGIS, selvom det kom lidt uventet og gør tingene lidt besværlige.”

Han fortæller, at de sidste iskerner fra stykket med den pludseligt meget hårde is er ved at blive analyseret, så det hele er stadig omgærdet af en vis usikkerhed. Men optimismen er intakt hos Anders Svensson.

”Nu har vi hele vinteren til at finde en løsning. Det er nemlig vigtigt, vi når helt ned til bunden, da vi skal sammenligne strømningen der med den i de øvre lag for at få den fulde forståelse af, hvad der foregår i NEGIS, og hvordan den vil reagere på klimaforandringerne nu og i fremtiden”. ⁹

A

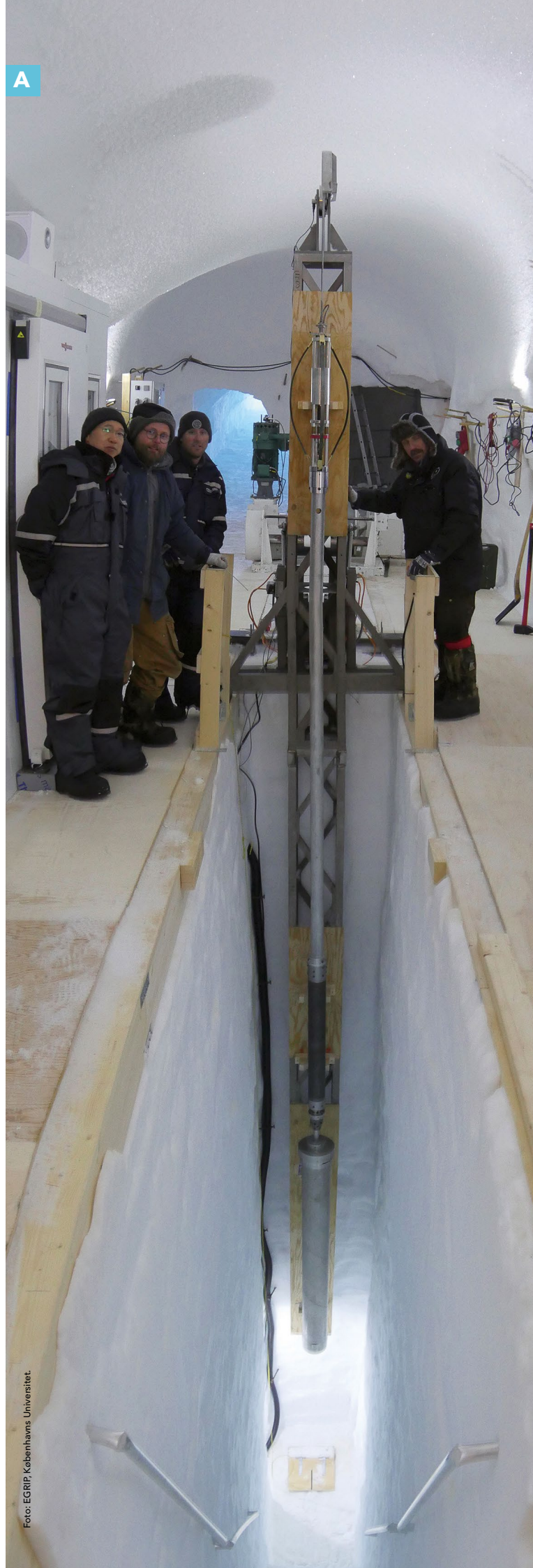


Foto: EGRIP Københavns Universitet.

B



Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

Find mere +

Få en guidet tur med 360 graders video i EGRIP-ishallerne, billeder, feltdagbøger, konstruktionen af ishallerne og meget mere her:

eastgrip.org/livetilejren

C



Foto: Kenji Kawamura

D



Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

- A:** Det moderne iskernebor i EGRIP-lejren. I spidsen af boret sidder skarpe knive, som bruges til at knække iskerne over hver tredje meter, da det er den længde iskerne, som boret kan holde af gangen.
- B:** Væggene i ishallerne skal jævnligt trimmes med motorsav. Isen kan nemlig ikke lide hulrum og forsøger hele tiden at udfylde forskernes ishaller igen fra alle sider.
- C:** Anders Svensson forbereder en prøve fra en iskerne, som skal have krystalstrukturen analyseret
- D:** Nedstigning til en dags arbejde under overfladen.

geo viden

Udgiver: Geocenter Danmark

Ansvarshavende:

Mette Buck Jensen, GEUS

Redaktør og skribent:

Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS

Design: Annabeth Andersen, GEUS

Tryk: Rosendahls A/S

Forside: Spalte i Indlandsisen ved Kangerlussuaq. Foto: Humbert Entress - Visit Greenland.

Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse

Kontakt: geoviden@geus.dk

ISSN: 1604-6935 (papir)

ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet udkommer tre-fire gange om året. **Abonnement er gratis** og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstramateriale som videoer og figurer.

GEOCENTER D A N M A R K

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geoviden-skab og Naturforvaltning og Statens Naturhistoriske Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

Har du ris eller ros eller ideer til emner, så send os en mail på geoviden@geus.dk



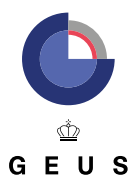
Kilde: Shutterstock



NÆSTE NUMMER

Næste nummer af Geoviden handler om CO₂. Her kigger vi på karbonkredsløbet, og hvordan forskerne arbejder på at fjerne CO₂ fra atmosfæren ved at lagre det i undergrunden (CCS). Udkommer primo 2020.

• **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 Geoviden-skab og Naturforvaltning (IGN)**
• Øster Voldgade 10
• 1350 København K
• Tlf: 35 32 25 00
• E-mail: ign@ign.ku.dk

• **Statens Naturhistoriske Museum (SNM)**
• Øster Voldgade 5-7
• 1350 København K
• Tlf: 35 32 23 45
• E-mail: snm@snm.ku.dk



• **Institut for Geoscience (IG)**
• Aarhus Universitet
• Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
• 8000 Aarhus C
• Tlf: 89 42 94 00
• E-mail: geologi@au.dk

