

På specialdesignede hylder i EastGRIP-lejrens iskolde lager ligger borekerner fra Indlandsisen side om side.



I EastGRIP-lejrens laboratorie under isen kan forskerne se nærmere på de iskerner, de borer op, og f.eks. måle længden på dem.



Foto: Sune Olander Rasmussen

Foto: Neemdk

# ISKERNER ER ET DIREKTE VINDUE TIL FORTIDENS KLIMA

**Mere end 20 kilometer indlandsis opbevares i reoler på et arkiv i udkanten af København. Isen fortæller flere hundredtusinder års klimahistorie og er en vigtig kilde til viden.**

TEKST: ANNE RINGGAARD · LAYOUT: LYKKE SANDAL

I intetheden ude midt på den grønlandske indlandsis står pludselig en stor, rund tre-etagers kuppel.

”Man kunne lige så godt være på en fremmed planet. Der er helt fladt, og så er der iskrystaller i luften. De reflekterer lyset på en fuldstændig magisk måde, så der dannes regnbueagtige formationer. Det ligner ikke noget andet sted på Jorden,”

fortæller Helle Astrid Kjær, der er glaciolog på Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet.

Helle Astrid Kjær har flere gange været en del af det internationale hold forskere, som i amerikanske Hercules-fly bliver fløjet til forskningslejren EastGRIP for at udføre en vigtig mission: På ugelange ophold arbejder de hvert år i temperaturer på under 20 minusgrader i tunneller, der er etableret under isen. Her hiver forskerne igen og igen tre meter lange kerner op af det samme hul i Indlandsisen, som nogle steder er op til tre kilometer tyk. På den måde når de helt ned til is, der blev dannet for 130.000 år siden.

Fra en lignende lejr på Antarktis har forskere hentet iskerner med op til 800.000 år på bagen.

>

Iskerne bliver skåret i 55 centimeter lange stykker, pakket i frysekasser og transporteret til blandt andet København, hvor Helle Astrid Kjær og hendes kollegaer bruger dem til at kortlægge fortidens klima. I isen kan de aflæse temperaturændringer tilbage i tid og direkte måle, hvor meget CO<sub>2</sub> der har været i atmosfæren i de seneste hundredtusinder af år.

”Vi analyserer indholdet i luftbobler, der er fanget i isen. Det giver os et direkte mål for fortidens CO<sub>2</sub>-koncentrationer,” fortæller Helle Astrid Kjær.

### HELT UDEN FOR SKALA

Målingerne slår en tyk streg under, at vi i øjeblikket befinder os i en ekstrem situation: På intet tidspunkt i de seneste 800.000 år har koncentrationen af drivhusgasser i Jordens atmosfære været så høj, som den er nu.

”Vi er helt udenfor skala i forhold til, hvad vi kan måle i de gamle antarktiske iskerner. Der har hverken været CO<sub>2</sub>- eller metan-niveauer, der minder om dem, vi har i dag,” siger Helle Astrid Kjær.

CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser bliver fanget i Indlandsisen, når sne bliver komprimeret til is. I isen fanges tidligere tiders luft fra atmosfæren i små bobler.

Hvert år falder der ny nedbør over Indlandsisen. Under et tykkere og tykkere lag bliver de indkapslede luftbobler



Foto: East Greenland Ice-core Project, [www.eastgrip.org](http://www.eastgrip.org)

Det var noget af en ingeniøropgave, da EastGRIP-lejrens tunneller skulle etableres midt på Indlandsisen i 2015: Først gravede man dybe render i isen. Derefter blev enorme, aflange balloner placeret i renderne og pustet op, hvorefter de langsomt blev dækket med lag på lag af sne. Da sneen var hærdet, blev ballonerne tømt for luft og fjernet – og vupti, så havde forskerne tunneller, de kunne flytte ind i. Se video og flere billeder fra opbygningen af lejren på [eastgrip.org](http://eastgrip.org).

efterhånden trykkes ind i de omkringliggende iskrystaller, men de bevarer samme kemiske sammensætning, som atmosfæren havde, da boblerne blev dannet. De indeholder derfor også samme koncentration af gasserne kuldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), kvælstof (N<sub>2</sub>) og ilt (O<sub>2</sub>). ➤

“Vi er helt uden for skala i forhold til, hvad vi kan måle i de gamle antarktiske iskerner. Der har hverken været CO<sub>2</sub>- eller metan-niveauer, der minder om dem, vi har i dag.”

HELLE ASTRID KJÆR

LEKTOR, NIELS BOHR INSTITUTET



Kuplen i EastGRIP-lejren på Indlandsisen i Grønland rummer blandt andet kantine, opholdsstue og mødelokale. I baggrunden ses et Hercules-fly. Forskerne sover i telte, når de opholder sig på isen. På hjemmesiden [eastgrip.org](http://eastgrip.org) kan du finde optagelser fra kuplen og resten af lejren – du kan også se, hvordan forskerne borer iskernerne op.

(Foto: The East Greenland Ice-core Project, EastGRIP, [www.eastgrip.org](http://www.eastgrip.org))



I laboratoriet i København kigger Helle Astrid Kjær under et forstørrelsesglas på iskrystaller i et tyndt stykke is, hun har skåret af en iskerne fra Indlandsisen.

## SÅDAN ANALYSERES ISKERNER

Forskerne borer tre meter lange iskerner op fra lejre på Indlandsisen og Antarktis. Derefter nye tre meter lange kerner fra samme hul, igen og igen. På den måde når de længere og længere tilbage i tid.

Forskerne laver en række analyser af kernerne med forskellige metoder.

### MÅLING AF ELEKTRISK LEDNINGSEVNE VISER VULKANSK AKTIVITET

Forskerne måler iskernernes elektriske ledningsevne med to elektroder. Ledningsevnen fortæller, hvor mange elektrisk ledende ioner, der er i isen. Høje koncentrationer af den elektisk ledende ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) kan indikere, hvornår der har været vulkansk aktivitet. Svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ) fra vulkaner bliver nemlig omdannet til sulfat i atmosfæren.

### ANALYSE AF ISKRISTALLER VISER ISENS BEVÆGELSER

Iskrystaller fortæller noget om, hvordan isen har flydt og bevæget sig i forskellige perioder.

### ISEN SMELTES, SÅ DEN INDERSTE DEL BLIVER TILGÆNGELIG

I laboratoriet på Niels Bohr Institutet skærer forskerne små stykker af isen og smelter det på en slags kogeplade, der skiller det indre vand fra det ydre. Forskerne er interesserede i at måle på det vand, der kommer fra den inderste del af kernen, fordi den yderste del kan være forurenet, efter at den har været i kontakt med luften, eller når forskerne har rørt ved den.

### VAND-ANALYSE MED CAVITY RING-DOWN-SPEKTROMETRI

Vandet bliver analyseret i forskellige instrumenter. Et af dem er et laserinstrument, der kaldes et Cavity Ring-Down-Spektrometer (CRDS). CRDS kan med høj præcision måle koncentrationer af isotoperne  $^{16}\text{O}$  og  $^{18}\text{O}$  – forholdet mellem dem er såkaldt proxy for temperaturer. Læs om det på side 11.

Med andre metoder måles:

- Drivhusgassen metan ( $\text{CH}_4$ ).
- Støvparkler, der fortæller om tørke og vindforhold.
- Ioner fra salte, der stammer fra havene og kan informere om havsens udbredelse.

Til sammen giver analyserne kontinuerlige klimadata, der når op til 130.000 år tilbage i tid fra de grønlandske kerner og op til 800.000 år tilbage fra de antarktiske kerner.

Foto: Jacob Lind Bendtsen

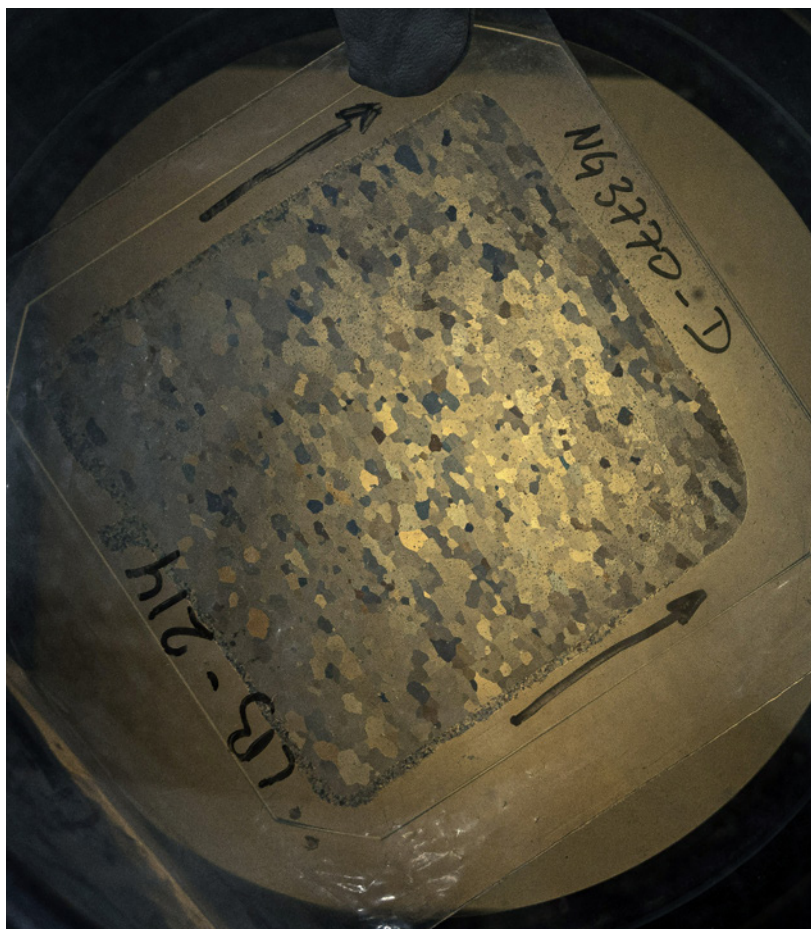
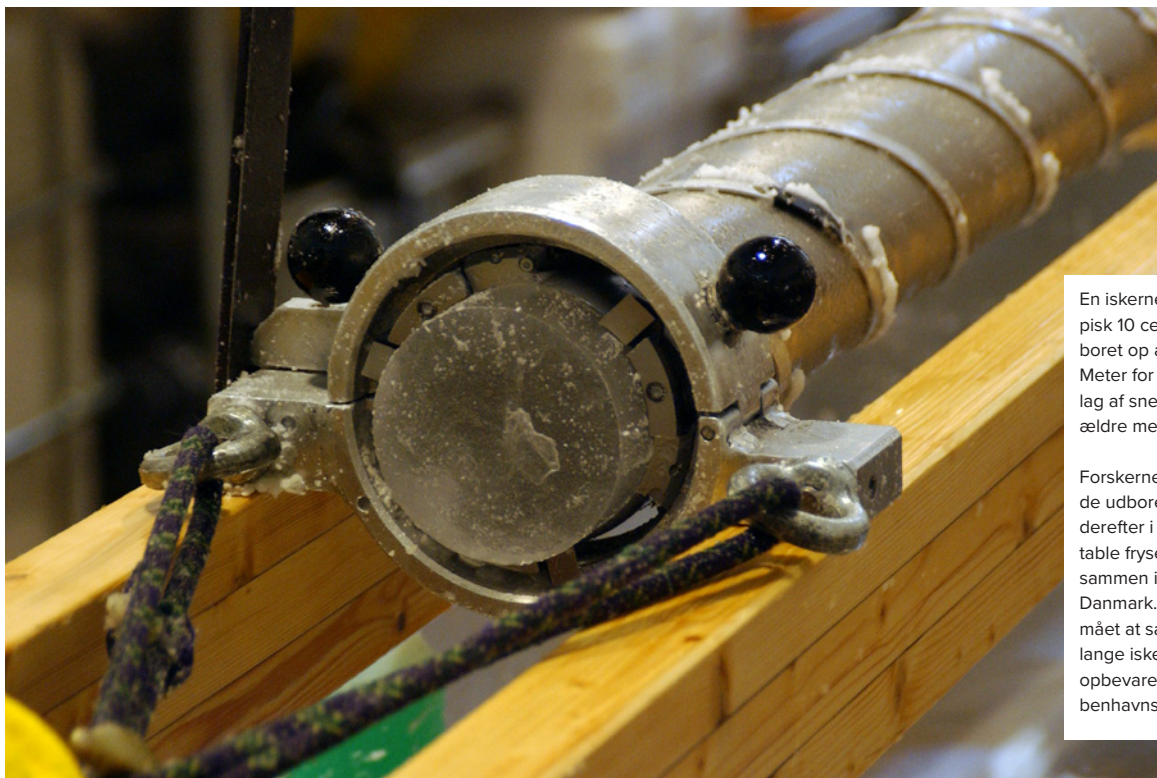


Foto: Jacob Lind Bendtsen

I iskrystallerne er der luftbobler med samme kemiske sammensætning, som atmosfæren havde, da de blev dannet. I iskernerne kan forskerne derfor måle nøjagtigt, hvor høj atmosfærens koncentration af drivhusgasser har været i de seneste hundretusinder af år.





En iskerne er en cylinder af is på typisk 10 centimeter i diameter, som er boret op af isen fra en given dybde. Meter for meter indeholder iskernen lag af sne/is, som bliver ældre og ældre med dybden.

Forskerne pakker møjsommeligt de udborede iskerner i plastik og derefter i frysekasser og transportable fryserne, så de kan sætte dem sammen i rækkefølge hjemme i Danmark. På den måde har de formået at samle mere end to kilometer lange iskerner. Iskernerne bliver opbevaret i minus 30 grader i Københavns Universitets iskernearkiv.

Foto: Neem.dk



Iskernearkivet på Københavns Universitet er et stort frostlager på 400 kvadratkilometer med plads til 2.000 frysekasser i 13 reoler. I alt ligger der over 20 kilometer iskerner i de hvide termokasser. Temperaturen er minus 30 grader.

Foto: Jacob Lind Bendtsen

I laboratoriet isolerer Helle Astrid Kjær og hendes kollegaer luftboblerne, så de kan måle drivhusgasserne. Se, hvordan det foregår, i boksen på side 8.

#### DEN MENNESKELIGE FAKTOR

Drivhusgasserne udgør ikke en stor del af hverken isens luftbobler eller atmosfæren.

Jordens atmosfære består af:

- 78 procent nitrogen
- 21 procent ilt
- 1 procent andre stoffer, blandt andet drivhusgasser

Men selv om drivhusgasserne fylder meget lidt, er de effektive. I atmosfæren fungerer de som et slags tæppe, der reflekterer noget af Jordens varmestråling, så Jorden bliver en beboelig planet – det er det, vi kalder drivhuseffekten (læs mere om den på side 19).

Problemet er, at menneskelig aktivitet i løbet af de seneste par hundrede år har udledt så meget CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser, at planeten i øjeblikket varmes unaturligt op.

Siden slutningen af 1800-tallet er koncentrationen næsten fordoblet.

I 2022 udgjorde CO<sub>2</sub> 0,042 procent af den samlede atmosfære. Det svarer til 420 ppm (parts per million). Normalt er mængden af CO<sub>2</sub> kun cirka 280 ppm i mellemistider, som den vi befinder os i nu, viser analyser af iskernernes luftbobler. I istider er den endnu lavere, typisk 180-220 ppm.

&gt;

“Vi kan jo kun vide noget om, hvordan klimaet kommer til at forandre sig i fremtiden, hvis vi ved, hvordan det har forandret sig i fortiden.”

HELLE ASTRID KJÆR

LEKTOR, NIELS BOHR INSTITUTET

”Så vi er ret langt fra normalen og det niveau af drivhusgasser, der normalt vil være i en mellemistid,” siger Helle Astrid Kjær.

#### ISKERNE ER GIVER EN IDÉ OM FREMTIDEN

Allerede nu mærker vi, at den rekordhøje CO<sub>2</sub>-koncentration medfører, at atmosfæren bliver et lidt for effektivt drivhus:

Klimaet bliver varmere, havniveauet stiger, og vejret bliver mere ekstremt. Andre afledte effekter af den hastige opvarmning kan være svære at forudse, fordi vi mennesker aldrig har opholdt os i et klima som det, vi går i møde, hvis vi bliver ved med at udlede CO<sub>2</sub> i de mængder, vi hidtil har gjort.

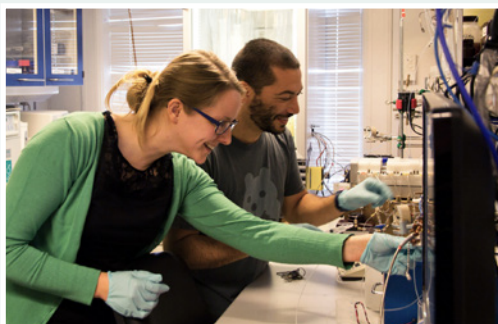
Iskerneforskningen kan hjælpe med at give et kvalificeret bud på, hvad der venter, siger Helle Astrid Kjær.

”Vi kan jo kun vide noget om, hvordan klimaet kommer til at forandre sig i fremtiden, hvis vi ved, hvordan det har forandret sig i fortiden.”

#### HELLE ASTRID KJÆR

Lektor ved sektionen for Is, Klima og Geofysik på Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet.

Specialiseret i at analysere støv og partikler i iskerner for at samle viden om forskellige fortidige klimaprocesser. Har været med til at udvikle flere metoder til at analysere iskerner.



#### PÅ FLUGT FRA TIPPING POINTS

I klimaforskning betegner ordet 'tipping points' kritiske tærskler, hvor selv små stigninger i temperatur kan udløse store og ofte uoprettelige ændringer i Jordens klimasystemer. For eksempel er der risiko for, at afsmeltningen af Grønlands indlandsis kan accelerere ukontrollabelt ved en vis opvarmning.

I computerspillet 'The Tipping Point', som Helle Astrid Kjær har været med til at udvikle, kan du prøve at være klimaforsker, der skal nå at komme af Indlandsisen, før den kollapse. Undervejs samler og analyserer du data om iskappen, før den forsvinder.

Find og download computerspillet gratis til både Windows og iOS på Steam ([store.steampowered.com](https://store.steampowered.com)), søg på 'The Tipping Point'.

På hjemmesiden [www.eastgrip.org](http://www.eastgrip.org) kan du se mange flere billeder og læse beretninger fra den fascinerende EastGRIP-forskningsstation på Indlandsisen.

#### OPVARMNING ER SYNLIG FOR DET BLOTTE ØJE

Den igangværende opvarmning af vores planet er allerede tydelig på Indlandsisen og i de arktiske områder. Der stiger temperaturen ifølge Helle Astrid Kjær hurtigere end det globale gennemsnit.

Inden for de seneste 10 år har forskerne flere gange oplevet, at der har været plusgrader på midten af Indlandsisen, hvor termometeret ellers tidligere har holdt sig under frysepunktet.

”Når vi står og kigger på de iskerner, vi har boret ud i Sydgrønland i 2024, kan vi med det blotte øje se, at der er mere frossent smeltevand i kernerne, efterhånden som vi kommer op til de seneste år. Det påvirker mig – at stå der med det i hånden og se det så direkte,” siger Helle Astrid Kjær.

Klimaforandringerne kan hun og kollegaerne også måle i de analyser, de laver af isen i laboratorierne hjemme i Danmark. Temperaturerne i dag og i fortiden står nemlig skrevet i sammensætningen af forskellige isotoper i isen. Læs mere om det på næste side. •