

# Iskerner

## – et indblik i fortidens klimaforandringer

*Iskerner gemmer tidligere tiders klima, og når vi analyserer på de grønlandske iskerner, frembringes et klimaarkiv, der går mere end 110.000 år tilbage.*

**AF  
HELLE ASTRID KJÆR OG  
DAVID BALSLEV-CLAUSEN**

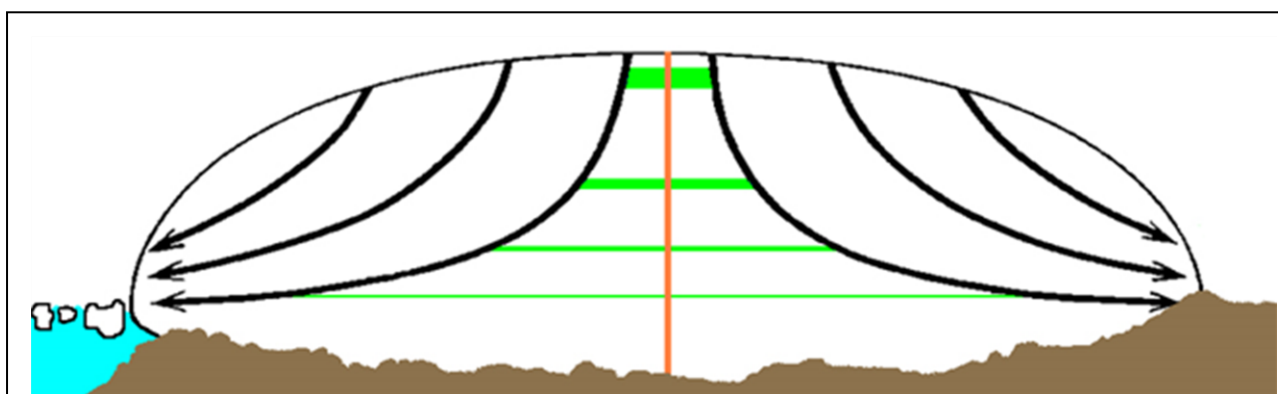
**W**illi Dansgaard, der i 1950 var ung forsker ved Københavns Universitet, havde fået ansvar for et massespektrometer. Der var ikke den store brug for massespektrometriske målinger, og derfor gav Willy sig til at måle på regnvand. I 1952 opdagede han, ved hjælp af massespektrometret, at der var en sammenhæng mellem temperatur og det, man kalder  $\delta^{18}\text{O}$ , se Boks 1. I 1954 fandt Willi Dansgaard på, at man

### Boks 1. $\delta^{18}\text{O}$

$\delta^{18}\text{O}$  (siges "delta-18-O") er et mål for det relative blandingsforhold mellem den lette  $^{16}\text{O}$ -isotop og den tungere  $^{18}\text{O}$  i  $\text{H}_2\text{O}$ , målt i forhold til en standardvæske af velbestemt blandingsforhold (f.eks. SMOW – *Standard Mean Ocean Water*).  $\delta^{18}\text{O}$  opgives i promille:

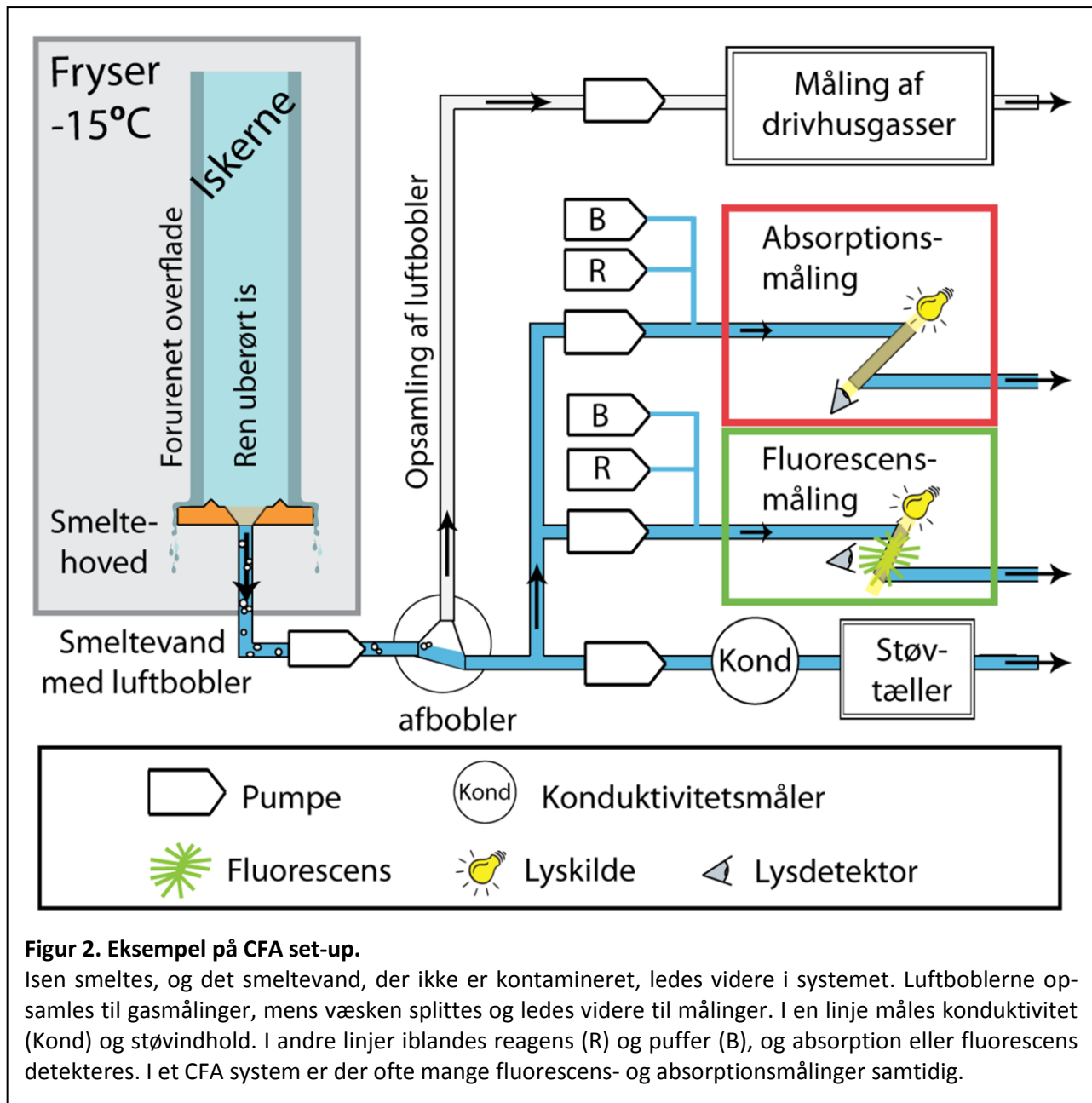
$$\delta^{18}\text{O} = \frac{R - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \cdot 10^3 \text{ ‰} , \quad R = \frac{[^{18}\text{O}]}{[^{16}\text{O}]}$$

De vandmolekyler, der indeholder  $^{18}\text{O}$  har på grund af deres lidt højere masse sværere ved at fordampe end dem der indeholder  $^{16}\text{O}$ . Tilsvarende kondenserer vandmolekyler med  $^{18}\text{O}$  hurtigere, f.eks. når der dannes skyer. Blandingsforholdet for den tunge isotop er afhængig af temperaturen på nedbørstidpunktet, med færre  $^{18}\text{O}$ -vandmolekyler ved koldere temperaturer. Lave  $\delta^{18}\text{O}$ -værdier svarer altså til lave temperaturer.



**Figur 1. Iskappen**

Et årlag (grøn streg) deponeret på toppen af iskappen bliver tyndere og tyndere pga. isens flydning. Den orange vertikale angiver et typisk borested for en iskerne der rækker langt tilbage i tiden.



også kunne måle temperaturudsving i iskerner ved blandt andet at måle  $\delta^{18}\text{O}$  værdier, altså en parameter for temperaturen i historisk nedbør. Dette var starten på et helt nyt vidensområde, som siden gjorde Willi Dansgaard til professor i palæoklima ved Københavns Universitet.

Willy Dansgaard var forud for sin tid. I dag er klima på alles læber, og man er særligt

interessert i, hvordan klimaforandringer kommer til at påvirke os de næste 100 år. Men hvad er klimaforandringer? Det kan være svært at bedømme, om der virkelig er forandringer, hvis man ikke ved, hvordan klimaet normalt er. Ligesom det kan være svært at tro på modeller, der forudsiger klimaforandringer, hvis de ikke kan genskabe tidligere tiders klima. For at forstå de klimaforan-

dringer, vi ser i dag, og beregne de forandringer, vi kommer til at se i fremtiden, er vi altså nødt til at have et arkiv over tidligere tiders forandringer. Iskernerne er et sådant arkiv.

### ISKERNER

Iskerner har den fordel, at de indeholder informationer om klimaet lang tilbage i tiden. Iskerner fra Grønland dækker de seneste ca. 123.000 år, mens

iskerner fra Antarktis går 800.000 år tilbage.

En anden fordel ved at bruge iskernerne som klimaarkiv er, at de har høj opløsning. På Grønland falder der 19–50 cm is om året. Det betyder, at man kan se de enkelte årlag helt tilbage til 80.000 år f.Kr. Den øverste halvdel af de Grønlandske kerner dækker hele vores mellemistid, altså de sidste ca. 11.700 år, mens den nederste halvdel af de Grønlandske kerner dækker ca. 120.000 år tilbage i tiden. Det er fordi isen er plastisk og flyder. Dermed bliver årlagene udglattede over tid. De bliver altså tyndere og tyndere, jo ældre de er, som det ses i Figur 1.

Hvor er det bedste sted at bore en iskerne? Hvis man gerne vil nå langt tilbage i tiden, er

det bedste sted at bore en iskerne ved iskappens højderyg (se Figur 1). Her har isen nemlig ingen horisontal transport og udtyndes blot, derfor er isens lag uforstyrrede og lagene i bunden er meget gamle. Hvis man gerne vil have meget høj opløsning af f.eks. menneskeskabte forandringer, er det bedre at bore en iskerne et sted med meget nedbør. Der er årlagene nemlig tykkere, og man har bedre mulighed for at bedømme, hvornår på året sneen med de mange urenheder er faldet.

### MÅLINGER PÅ ISKERNER

Iskerner fortæller om fortidens temperaturer målt ved isens  $\delta^{18}\text{O}$ -sammensætning, mens støyparametre som  $\text{Mg}^{2+}$ - og  $\text{Ca}^{2+}$ -indhold fortæller om at-

mosfærens cirkulationsmønstre. Tidligere tiders atmosfærisk luft er indesluttet i isen i små luftbobler, fra hvilke tidligere tiders drivhusgas koncentrationer af f.eks.  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  kan måles. Vulkanudbrud kan findes i isen ved høje koncentrationer af  $\text{SO}_4^{2-}$ , og et billede af biomassen på land kan man få ved at kigge på  $\text{NH}_4^+$ .

Traditionelt har man målt isen ved at skære den i stykker og måle hvert stykke for sig. Men jo mere isen berøres og skæres i stykker, jo større er sandsynligheden for forurening. Derfor måler man nu helst is kontinuert, og man bruger den såkaldte ”Continuous Flow Analysis” (CFA) metode (Figur 2).

### KONTINUERTE MÅLINGER (CFA)

CFA målinger bruges primært til måling af ioner som  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og andre, men systemet måler også elektrisk ledningsevne og kontinentalt støv. Ved CFA målinger skæres isen først ud i et stykke som er ca. 3 x 3 cm og mellem 55 og 110 cm langt. Stykket placeres oprejst ovenpå et smeltehoved i en fryser. Smeltehovedet er typisk lavet af guld, som ikke binder ionerne fra isen. Under smeltningen er der hele tiden en smule mere, der smelter i den inderste del af smeltehovedet, end der bliver trukket videre i systemet, altså et overflow fra den indre del af smeltehovedet til den ydre. Dette gør man for at undgå, at den ydre is, som kan være forurennet, bliver målt. Smel-

#### Boks 2. Absorption

Absorption er dæpningen af lys igennem et medium. For at måle koncentrationen af ioner tilsættes et reagens og evt. en puffer til iskerne vandet. Reagenset danner et farvestof, når det går i forbindelse med ionen, som vi ønsker at bestemme koncentrationen af. Vandet strømmer igennem en absorptionscelle, hvor man lader en lampe lyse igennem vandet. Jo højere koncentration af ioner, des mindre lys vil komme ud på den anden side. Man kan altså måle lysintensiteten før ( $I_0$ ) og efter ( $I$ ) absorptionen og herved bestemme absorbansen, som er afhængig af koncentrationen af det absorberende stof.  $\text{Na}^+$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  er eksempler på ioner, hvis koncentration kan bestemmes med absorptionsmålinger. Gaskoncentrationer kan også bestemmes ved absorptionsmålinger.

#### Boks 3. Fluorescens.

Fluorescensmålinger er også lysafhængige. Med en lampe exciteres ionerne ved en given bølgelængde, og når de igen henfalder til grundtilstanden, bliver fotoner udsendt. Antallet af ioner bestemmes ved at måle lysintensiteten. Mængden af lys afhænger altså af koncentrationen af ionen.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{NH}_4^+$  er eksempler på ioner, hvis koncentration måles ved fluorescens.

tevandet skilles i forskellige vandlinjer og tilføres reagenser og puffer. Reagenserne reagerer med forskellige ioner i vandet og via absorptionsmålinger (Boks 2) eller en fluorescensmetode (Boks 3) måles koncentrationerne af de forskellige ioner, der er i vandet fra isen.

### ISKERNERNES HISTORIE

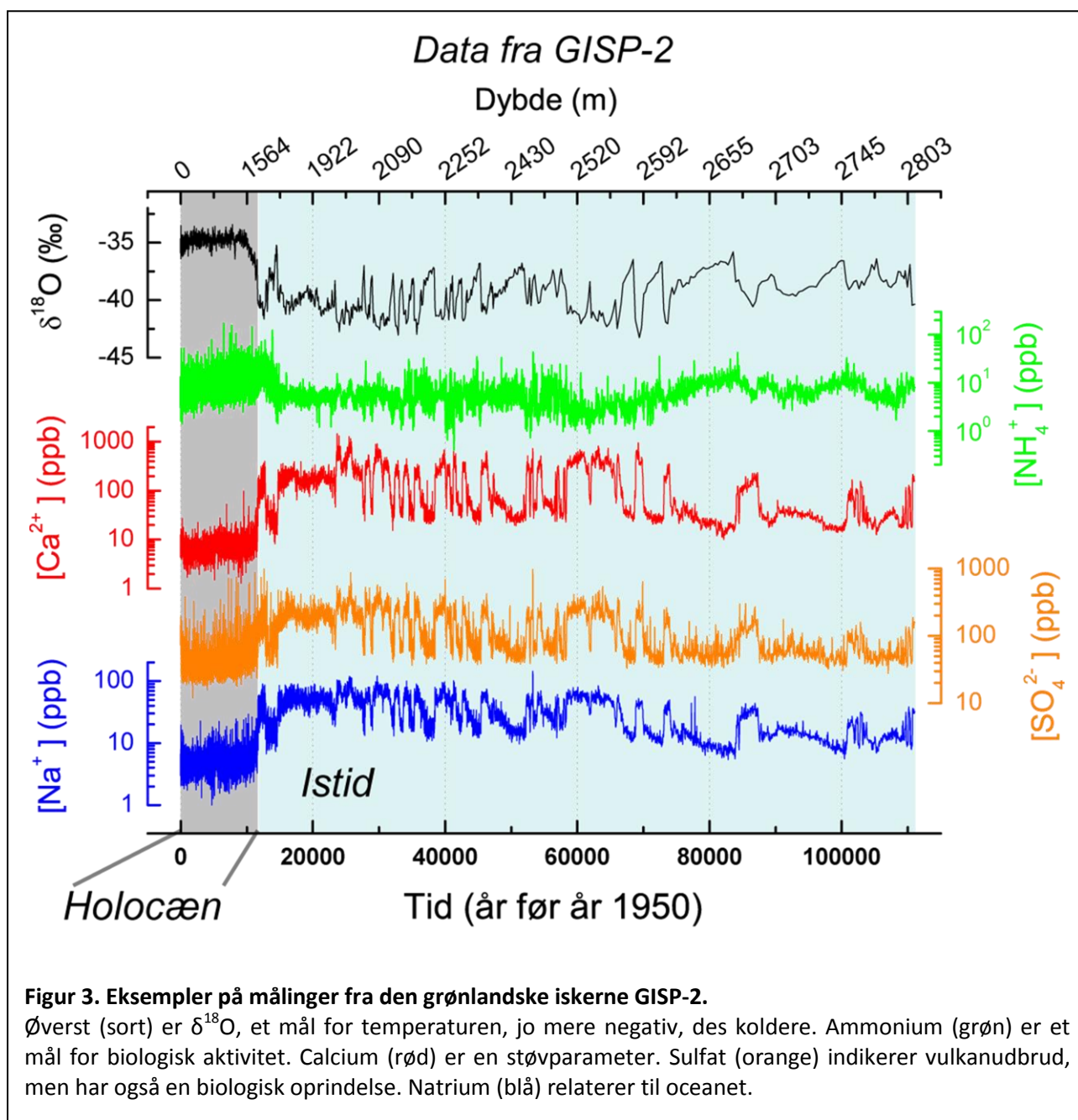
Målingerne fra CFA systemet

bruges til mange ting. Generelt har de ioner, man finder i isen, en top om foråret. Det er fordi kraftigere vind på dette tidspunkt af året transporterer flere ioner til iskappen fra kildeområderne. De årlige udsving kan bruges til at tælle år for år 80.000 år tilbage i tiden. På den måde kan man datere isen med meget høj præcision. Denne nøjagtige datering fra iskerner

har bl.a. hjulpet historikere med at finde den helt rigtige datering af vulkanudbruddet ved Vesuv (79 e.Kr.). Det er også via iskernedateringerne, at slutningen på sidste istid er blevet fastsat til 11.703 år før år 2000.

### VULKANER

Vulkanske udbrud er kendetegnet ved samtidige høje koncen-



**Figur 3. Eksempler på målinger fra den grønlandske iskerne GISP-2.**

Øverst (sort) er  $\delta^{18}\text{O}$ , et mål for temperaturen, jo mere negativ, des koldere. Ammonium (grøn) er et mål for biologisk aktivitet. Calcium (rød) er en støvparameter. Sulfat (orange) indikerer vulkanudbrud, men har også en biologisk oprindelse. Natrium (blå) relaterer til oceanet.

trationer af  $\text{SO}_4^{2-}$  og  $\text{NO}_3^-$ . Vulkanske lag er meget vigtige i dateringen af isen. F.eks. kan man bruge dem til at krydsdatere kerner. Er det en vulkan, der har haft et stort udbrud som f.eks. Tambora i år 1815, kan man se det både i de Grønlandske og i de Antarktiske iskerner. Vi ved også fra iskernerne, at der var en meget større vulkansk aktivitet i starten af vores mellemistid. Under istiden lå der store masser af is henover Nordamerika, faktisk så langt sydpå som New York, men også store dele af Europa var dækket af is. Da isen smeltede væk under overgangen til vores mellemistid, Holocæn, blev trykket på jorden flyttet, og det udløste jordskælv og vulkanudbrud.

## STØV

Mængden af støvpartikler måles direkte ved CFA, men også ioner som  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$  kommer primært fra støv. Støvet kan fortælle os om vindhastigheder, men også om kildeområder. Under sidste istids maksimum (ca. 20.000–25.000 f.Kr.) ses et op til 1000 gange større indhold af støv i iskerne end der er i dag. Det tolker man som en følge af den ca. 120 m lavere vandstand, og det dermed større landareal. Derudover ser man større støvkorn, og de kan kun komme op på iskappen, hvis der er kraftigere vind. Vinden er kraftigere under istiden, fordi der er en større temperaturforskel mellem ækvator og polerne.

## DANSGAARD-OESCHGER BEGIVENHEDER

I støvet og ionerne ser man store udsving under istiden. Disse klimaskift har fået betegnelsen *Dansgaard-Oeschger begivenheder* efter danske Willi Dansgaard og hans schweiziske kollega Hans Oeschger. D/O-begivenheder er perioder med en kraftig stigning i temperaturen på op til 20 graders opvarmning på bare 50 år, efterfulgt af en gradvis afkøling til istidens normale kolde klima. Når temperaturen stiger under en D/O begivenhed, falder mængden af urenheder i isen. Under den sidste istid var der 25 D/O begivenheder. Man ser ikke D/O-begivenheder i de varme mellemistider (f.eks. Holocæn). Mellemistiderne har et langt mere stabilt klima end istiden. I vores mellemistid (Holocæn) ses i iskernerne en jævn afkøling på ca. 3 grader i løbet af de sidste ca. 10.000 år.

## MENNESKESKABTE FORANDRINGER

Menneskabte forandringer kan også ses i iskernerne. Udover en stigning i  $\text{CO}_2$  ses også forandringer i  $\text{NH}_4^+$ -sommertoppen. Den er fordoblet i løbet af de sidste ca. 100 år som følge af menneskets brug af kunstgødning. Der er også tydelige tegn på menneskabte forandringer i mængden af  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  i de grønlandske iskerner (se Figur 3). Disse forandringer menes at stamme fra fabrikkers udledning. For nogle udledninger ser man i isen, at koncentrationen falder

igen. Det skyldes, at man har indført reguleringer (f.eks. Kyoto protokollen) på hvor meget forurening, der må udledes.

Iskernearkivet har medført en revurdering af opfattelsen af klimaet på vores jord. Tidligere tænkte man på klimaet som noget statisk og uforanderligt. Men iskernerne har vist, at klimaet kan variere kraftigt over meget kort tid, som f.eks. D/O-begivenhederne. Iskernerne giver vigtig viden om klimaet og har noget af den bedste opløsning, der findes tilbage i tiden. Derfor er iskernerne også et af de bedre palæoarkiver til at bedømme, hvor hurtigt forandringerne sker i jordens klima og ikke mindst i hvilken rækkefølge. Det er præcis den viden, der er nødvendig for at lave gode klimamodeller, der kan forudsige fremtidens klima.

---

### Om forfatterne

**Helle Astrid Kjær** er Ph.D-studerende ved Center for Is og Klima, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

**David Balslev-Clausen**, Ph.D., er post.doc. ved Center for Is og Klima, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

---

### Referencer

Besøg [www.isarkiv.dk](http://www.isarkiv.dk) og [www.isogklima.dk](http://www.isogklima.dk) for mere information om isens hemmeligheder.

---