

ET GEOLOGISK TERMOMETER

iltisotoper og fortidsklima

af Bjørn Buchardt

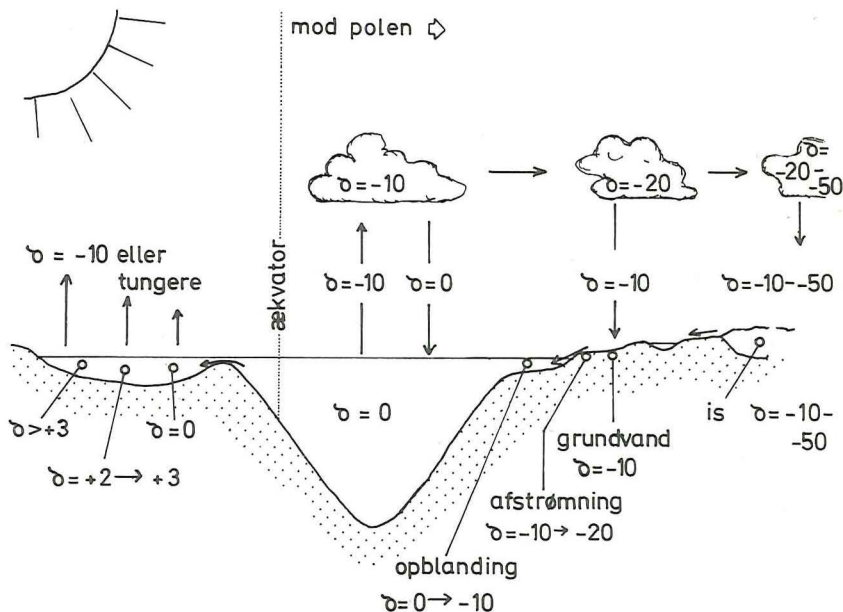
I artiklen er indskudt et par tillæg med yderligere detaljer - disse tillæg er ikke nødvendige for forståelse af princippet i metoden og kan eventuelt springes over.

Når geologer har ønsket at vurdere fortidens temperaturforhold, har de almindeligvis været henvist til indirekte metoder. Spor efter moræneaflejringer og isskurede sten er således gode indikatorer for lave temperaturer, mens for eksempel dybtgående forvitring, saltaflejringer, tørkesprækker eller koralrev peger hen imod varme, tropiske forhold. En metode til måling af absolutte palæotemperaturer har derimod kun været til rådighed i de sidste par årtier. Ganske som ved udviklingen af de absolutte dateringsmetoder (som for eksempel ud fra den radioaktive kulstof-14 isotop), var det det frugtbare grænseland mellem fysik, kemi og geologi, der fostrede ideen til det geologiske termometer på grundlag af iltisotoper (tillæg 1). Æren må tilskrives den amerikanske fysiker Harold Urey, der ellers er mest kendt for sin opdagelse af den tunge brintisotop deuterium. Anekdoten vil vide, at han efter en forelæsning i Zürich i 1946 diskuterede iltisotopernes forskellige damptryk med geokemikeren P. Niggli og her blev opmærksom på det faktum, at calciumkarbonat udfældet fra havvand ved forskellige temperaturer vil have afvigende O-18 indhold.

Ideen var rigtig, men teknikken til at eftervise den utilstrækkelig, og først 4 år senere lykkedes det Urey og hans gruppe på University of Chicago at gennemføre de første målinger af O-18/O-16 forhold i skal-kalk (tillæg 2). Hermed var grunden lagt til udviklingen af iltisotop-palæotemperatur metoden, og de forløbne 25 år har set en hastig - måske nogle gange for hastig - akkumulation af absolutte palæotemperaturbestemmelser. Idag er langt de fleste tekniske problemer overvundet, og mere end 20 laboratorier rundt om på kloden beskæftiger sig med sådanne analyser på saltvands- eller ferskvandsbløddyr, encellede organismer eller andre former for skalbærende dyr.

Inden vi går mere i detaljer med O-18 temperatur metoden vil det være rimeligt at se lidt på iltisotopernes fordeling i de globale kredsløb og de fysisk/kemiske processer, der ligger bag. Grundstoffers kemiske egenskaber er bestemt af antallet af elektroner omkring kernen, og de tre iltisotoper (se tillæg 1) vil derfor optræde identisk i kemiske reaktioner. Fysiske egenskaber som diffusionshastighed og damptryk er derimod afhængig af kernernes masse, og følgelig vil fordampnings- og diffusionsprocesser ændre O-18/O16 forholdet set i forhold til udgangssammensætningen.

Et instruktivt eksempel på sådanne processer er iltisotopernes fordeling i det atmosfærisk-hydrosfæriske kredsløb. På grund af masseforskellen vil vanddamp indeholde godt 10 promille mindre O-18 end den tilhørende vandmasse, og tilsvarende vil nedbør gennem kondensation blive godt 10 promille beriget på O-18 i forhold til vanddampen. Disse processer er vist i figur 1, der illustrerer iltisotopvariationerne i vandet i de hydrosfæriske kredsløb.



Figur 1. Iltisotopernes vandring i det atmosfærisk-hydrosfæriske kredsløb. δ (græsk: delta) er et udtryk for forholdet O-18/O-16 - se tillæg 1.

Tillæg 1: Iltisotoper

Grundstoffet ilt optræder med tre forskellige stabile isotoper, der alle har det samme antal protoner (positivt ladet kernepartikel) og elektroner (nemlig 8), men 8, 9 eller 10 neutroner (elektrisk neutrale kernepartikler). De tre isotoper - skrevet som ^{16}O , ^{17}O og ^{18}O , eller som O-16, O-17 og O-18 - findes i havvand i forholdet 500 : 0,19 : 1. På grund af den større masseforskel og den større hyppighed interesserer man sig almindeligvis kun for forholdet mellem O-18 og O-16. Dette forhold udtrykkes gennem den såkaldte δ -funktion, der viser afvigelsen i O-18 indholdet i en prøve i forhold til en givet standard. En positiv δ -værdi udtrykker således, at prøven har et større O-18 indhold end standarden, en negativ δ -værdi at prøven har et mindre O-18 indhold.

Som det ses af figuren vokser afvigelsen i O-18 indholdet i forhold til oceanerne med faldende temperatur. De største afvigelser vil man finde i polarområderne, hvor de laveste O-18 værdier fås i vintermånederne og under istider. Hvis nedbøren - som for eksempel på Grønland - bliver bevaret som indlandsis, kan såvel sæsonvariationer som længerevarende klimatiske ændringer aflæses som O-18 variationer i iskerner. Om dette fascinerende emne, der er endnu en konsekvens af Urey's oprindelige spekulationer, kan iøvrigt henvises til Willy Dansgaards artikel i "Naturens Verden" januar 1977.

Også ligevægtsreaktioner mellem kemiske forbindelser med forskellig isotopisk sammensætning vil føre til karakteristiske isotopiske afvigelser. Under skaldannelse vil det således være reaktionen mellem vand og skalkalk (calciumkarbonat CaCO_3), der har interesse. Reaktionen har karakter af en "bytteforretning", idet iltisotoper fra vandmolekylerne ombyttes med iltisotoper fra skalkalken. Urey og hans gruppe påviste, at processen er temperaturafhængig på en sådan måde, at faldende temperaturer fører til stigende O-18 koncentration i karbonatet. Herpå hviler hele teorien bag palæotemperatur-bestemmelserne. Gennem forsøg blev det senere muligt at fastlægge den O-18 (karbonat)-temperatur relation (tillæg 3), der idag benyttes ved beregning af isotop-palæotemperaturer.

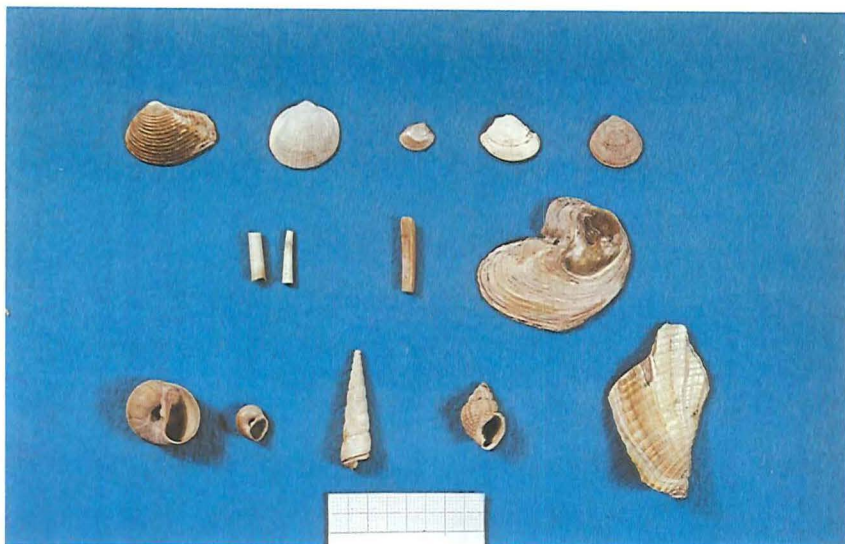
Tillæg 2: Måling af iltisotop forhold

Til bestemmelse af de meget små variationer, O-18/O-16 forholdet udviser i naturlige iltforbindelser, har det været nødvendigt at konstruere en ny type massespektrometer. I princippet måler sådanne instrumenter ikke absolutte O-18/O-16 forhold, men derimod afvigelser set i forhold til en givet arbejdsstandard. I massespektrometret benyttes CO_2 som målegas, idet forholdet mellem $\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ (masse 46) og C^{16}O_2 (masse 44) måles. Det er derfor nødvendigt at omdanne sin prøve til CO_2 . For kalkskallers vedkommende gøres dette ved opløsning i koncentreret fosforsyre i et særligt præparationssystem.

PALÆOTEMPERATUR-BESTEMMELSERNE

For at kunne benytte en fossil skal som udgangspunkt for palæotemperatur-bestemmelser er det nødvendigt at sikre sig, at den pågældende organisme under dannelsen af sin skal virkelig benyttede ilt fra det omgivende vand. Beklageligvis gælder det ikke alle dyregrupper. Bedst egnede former synes at være bløddyr som snegle, muslinger, skalbærende blæksprutter med flere, og foraminiferer (encellede organismer med kalkskal), der heldigvis udgør to af de hyppigst forekommende fossilgrupper.

Hermed er vanskelighederne dog ikke overvundne. Opløsning, rekrystallisation og overfladeabsorption (optagelse af stoffer fra omgivelserne)

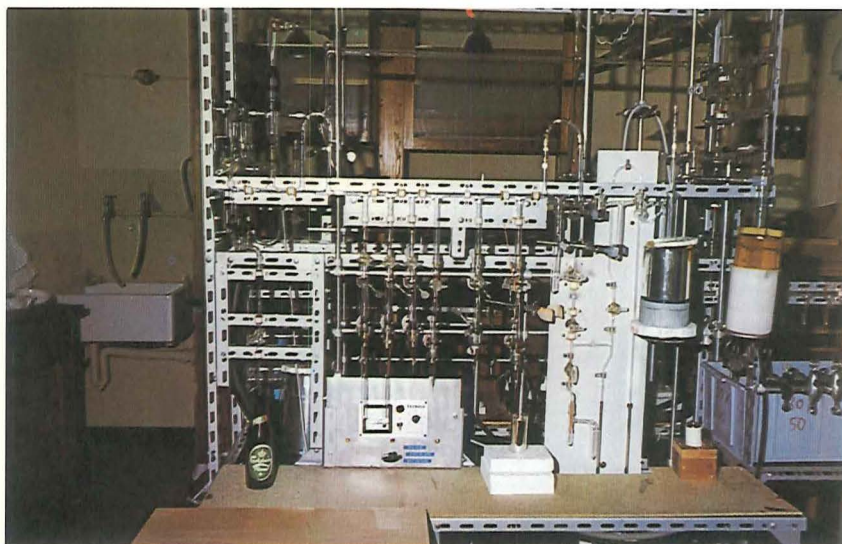


Figur 2. Viser typisk skaldyrsmateriale anvendt til palæotemperaturbestemmelser i Tertiær-perioden.

er alle processer, der kan ændre det oprindelige O-18/O-16 forhold, når først skallen er begravet efter organismens død. Det er derfor også nødvendigt at vurdere det pågældende skalmateriales bevaringstilstand. Dette kan gøres gennem for eksempel elektronmikroskopiske undersøgelser af ultrastrukturene i skallen eller ved at bestemme mængden af bevarede proteiner i skallens organiske indhold. Først når alle disse forhold er taget i betragtning, kan en O-18/O-16 måling med rimelighed tolkes som udtryk for oprindelige havtemperaturer.

De første palæotemperatur-bestemmelser udførtes på kalkmateriale (vættelys) fra en nu uddød blækspruttegruppe - belemnitterne, blandt andet fra de danske kridtaflejringer (se Varv 1966, nr.1). Senere undersøgelser har vist, at disse tidlige temperaturinformationer muligvis ikke er så troværdige som først antaget. I de senere år har O-18 analyserne været koncentreret om Kvartære aflejringer fra bunden af dybhavene, hvorfra borekerner fra op til 5 km's vanddybde har leveret et uvurderligt materiale af blandt andet foraminiferer - dels former, der levede ved havoverfladen og dels former, der var knyttet til havbunden.

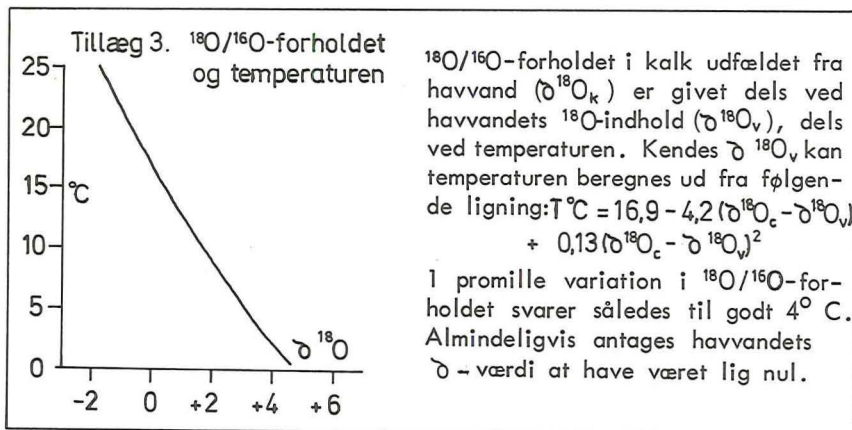
O-18/O-16 forholdet i foraminiferernes skaller afspejler som tidligere nævnt vandtemperaturen, og bestemmer man O-18 variationerne gennem sådanne borekerner, vil man få et billede af variationerne i havets temperatur gennem tiden på det pågældende sted. Ved at analysere over-

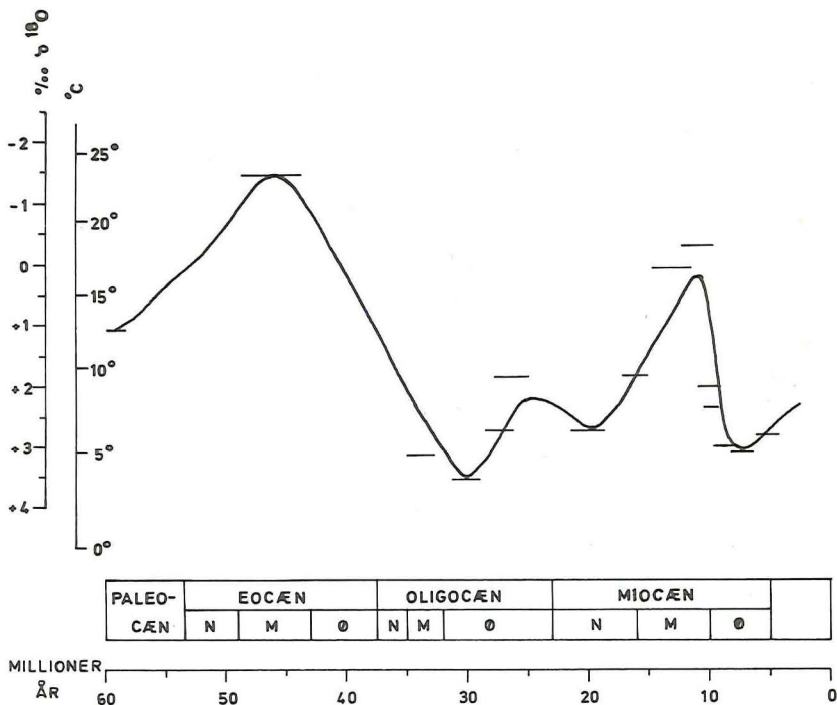


Figur 3. CO₂-præparations anlægget på Geologisk Centralinstitut i København. Her opløses kalkskallerne, inden deres O-18 indhold kan bestemmes.

fladeformer og bundformer hver for sig kan man oven i købet bestemme temperaturforskellen imellem disse niveauer i havet.

Et af de vigtigste resultater af disse undersøgelser har været påvisningen af ikke mindre end 7 kuldeperioder - glaciationer - gennem de sidste 700.000 år, samt det interessante faktum at de mellemliggende varmeperioder - interglacialtiderne - kun har været af kort varighed (mindre end 20.000 år).





Figur 4. Temperaturvariationerne i Nordsøen gennem Tertiær-perioden på basis af iltisotop-indholdet (skala længst til venstre) i fossile snegle- og muslingeskaller. De vandrette streger viser de enkelte målinger, idet stregens længde er et udtryk for den tilsvarende usikkerhed i aldersbestemmelse.

Temperatur-analyser af ældre materiale finder for tiden sted i iltisotoplaboratoriet ved Geologisk Centralinstitut i København. Som udgangspunkt benyttes her snegle- og muslingeskaller fra nordeuropæiske aflejringer af Tertiær alder, det vil sige fra de sidste godt 65 millioner år. Nogle af resultaterne fra danske aflejringer er vist i figur 4. Det fremgår heraf, at kølige perioder ikke har været begrænsede til Kvartærtiden alene. Tværtimod synes det nordeuropæiske klima at variere mellem kolde og varme intervaller med en cirka 30 millioner års periode.

Hvis disse temperaturbestemmelser ellers er korrekte, har det hav, der i Oligocæntiden rullede mod den danske Vesterhavskyst, som dengang lå i Østjylland, været lige så koldt som det, vi kender idag. Interessant er det i denne forbindelse at bemærke, at der er påvist glacialaflejringer i Antarktis såvel fra denne periode som fra Øvre Miocæn. Eocæn-tiden, der er kendt for sine moler-aflejringer med blandt andet rester af varme-krævende skildpadder, har derimod haft et varmt, subtropisk klima med gennemsnitstemperaturer på op til 20° C.

Resultaterne passer udmærket med de fossile planters vidnesbyrd - se Varv 1977 nr.1.