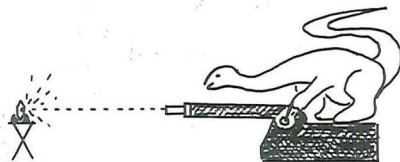


DATERING MED ION-SONDE



af Lasse Schiøtte

En af geologiens opgaver er at rekonstruere fortiden. Bjergarterne i et givet område repræsenterer på den ene eller anden måde et geologisk hændelsesforløb, og det er det, geologerne prøver at udrede. Ud fra feltiagttagelser vil det ofte være muligt at opstille en relativ aldersfølge, men i de gamle fossilfri bjergarter er det oftest nødvendigt at foretage absolutte aldersbestemmelser ved hjælp af radiometriske dateringer, for at klarlægge udviklingsrækkefølgen.

Grundlaget for radiometrisk datering er, at bjergarter indeholder en større eller mindre del radioaktive elementer (Uran, Thorium, $^{40}\text{Kalium}$, $^{87}\text{Rubidium}$ og mange flere), hvor tallet angiver hvilken isotop af det pågældende element, der er radioaktiv. At en eller flere isotoper af et grundstof er radioaktiv(e) vil sige, at den eller de er ustabile og omdannes med en karakteristisk hastighed til en stabil isotop af et andet grundstof. Hvor langt fremskreden denne omdannelse er (det vil sige forholdet mellem andelen af moderisotop og datterisotop) fortæller noget om alderen af bjergarten.



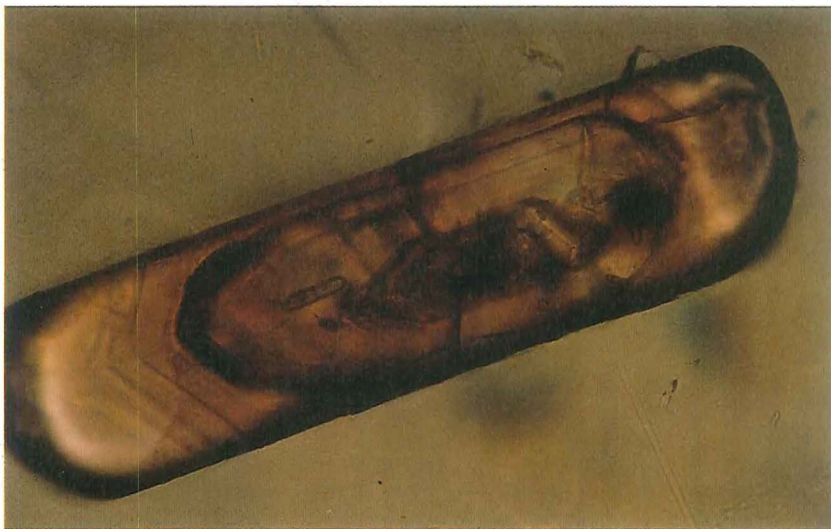
Figur 1. Isukasia-området tæt ved indlandsisen i Godthåbsfjord distriktet i Vestgrønland. Her findes de ca. 3800 millioner år gamle bjergarter, der indtil for nylig blev anset for at være verdens ældste.

Takket være isotop-dateringsmetoder har man siden 1970'erne vidst, at nogle af verdens ældste bjergarter (mere end 3500 millioner år gamle) gemmer sig i Godthåbsfjorden i Vestgrønland samt i et beslægtet grundfjeldsområde på kysten af Labrador i Canada vest herfor. Ja indtil 1983 gik vi faktisk i den lykkelige tro, at verdensrekorden i isotop-aldre befandt sig inden for det danske riges grænser: de ca. 3800 millioner år gamle vulkanske og sedimentære bjergarter ved Isukasia i Godthåbsfjord-distriktet.

Det vil næppe undre nogen, at bjergarter med mere end 3500 millioner år på bagen har været gennem 'lidt af hvert' - geologisk set. Bjergarterne er omkrystalliserede (metamorfoserede), hvilket har alvorlige konsekvenser for isotop-dateringers anvendelighed til at fastslå den oprindelige alder. Isotop-systemerne er under tiden forstyrret på en sådan måde, at man daterer en af de senere omdannelser af bjergarten, i stedet for bjergartens oprindelige alder.

Zirkondateringer

Datering af det forholdsvis sejlivede mineral zirkon (ZrSiO_4) har længe været kendt og anerkendt som en af de bedste måder til at 'kigge bagom' forstyrrelser som de ovennævnte. Især graniter indeholder et betydeligt antal zirkoner, der i sin krystalstruktur tit indbygger tilstrækkeligt uran (U) og thorium (Th) til, at zirkon kan benyttes i dateringsøjemed.



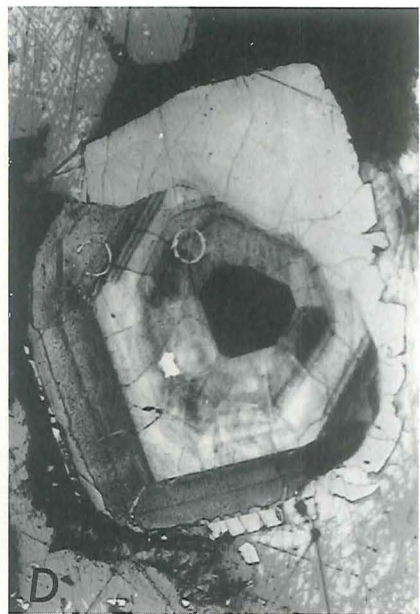
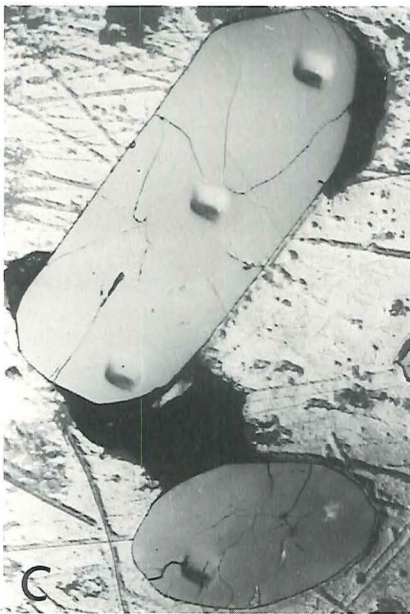
Figur 2. Mikroskopfoto af en zirkonkrystal, der oprindelig er dannet i en granit, som senere forvitrede til et sediment. Endelig er sedimentet blevet omdannet (metamorfoseret), og i forbindelse med denne proces er krystallen vokset i begge ender (de lidt lysere partier). Denne ene krystal har altså to aldre, en oprindelig 'granitalder' i kernen og en yngre 'metamorfosealder' i enderne.

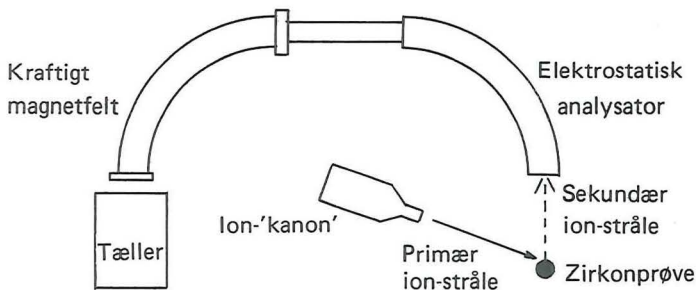
For granitiske bjergarter, der samtidig har en relativ simpel historie, vil det oftest være dannelsesalderen (den 'sande' alder), man når frem til ved zirkondatering. Men zirkons sejlivethed kan også vises ved, at graniter, der er dannet ved opsmeltning af f. eks. sandsten, kan indeholde zirkoner, der ikke gik i opløsning under smelteprocessen, og som derfor kan bevare den oprindelige 'zirkonsignatur' fra den geologiske udvikling, der fandt sted forud for granitdannelsen.

Klassisk zirkondatering foregår ved, at en bjergartsprøves zirkoner opdeles i fraktioner, der opløses i syrer, hvorefter de dateringsrelevante grundstoffer isoleres, og deres isotop-forhold måles i et massespektrometer. Vanskeligheder opstår, når en bjergart indeholder flere generationer af zirkonkrystaller. En gnejs, der har været igennem flere metamorfoser, kan således have hver metamorf begivenhed repræsenteret ved en ny zirkongeneration, og undertiden har man set eksempler på, at der er flere generationer af vækst på en og samme krystal, så kernen og randen har hver sin alder. Sedimentære bjergarter skaber også problemer, idet zirkonerne her tit er et bredt udsnit af erosionsprodukter fra vidt forskellige bjergarter med forskellige aldre.

På baggrund af disse komplikationer må det være klart, at muligheden for datering af en enkelt udvalgt zirkonkrystal - eller sågar af en udvalgt vækstzone i en zirkonkrystal - i højeste grad er ønskelig. Til netop dette formål har et forsker-team ved Australian National University i Canberra udviklet SCHRIMP, hvilket betyder: Sensitive High Resolution Ion Micro-Probe, i daglig tale blot kaldet 'ion-sonden i Canberra'. Bag de dyre ord gemmer der sig det princip, at man i stedet for at opløse zirkonkrystaller i syre, bombarderer udvalgte måleområder på bestemte zirkonkrystaller med en ion-stråle. Herved opstår der et lille krater i zirkonen på det pågældende sted (diameter omkring 0.03 mm), og det løsrevne materiale (uran, thorium, bly) analyseres i et særligt følsomt massespektrometer.

Figur 3. Mikroskopfotos af zirkonkrystaller, der har en størrelse omkring 0.1 millimeter. A: Fint zoneret 3800 år gammel magmatisk dannet zirkonkrystal fra Uivak-gnejsen i det nordlige Labrador. B: Magmatisk dannet zirkonkrystal fra samme gnejs. Kernen af denne krystal har en alder på mindst 3850 millioner år. De to fordybninger midt i krystallen er kratre dannet ved bombardement med en ion-stråle. C: Typisk massiv metamorf dannet zirkonkrystal med en alder på 2770 millioner år fra Uivak-gnejsen. De meget tydelige fordybninger på de viste krystaller er også dannet af ion-strålen. D: Magmatisk dannet zirkonkrystal med en tilvækst af massiv metamorf zirkon i randen.



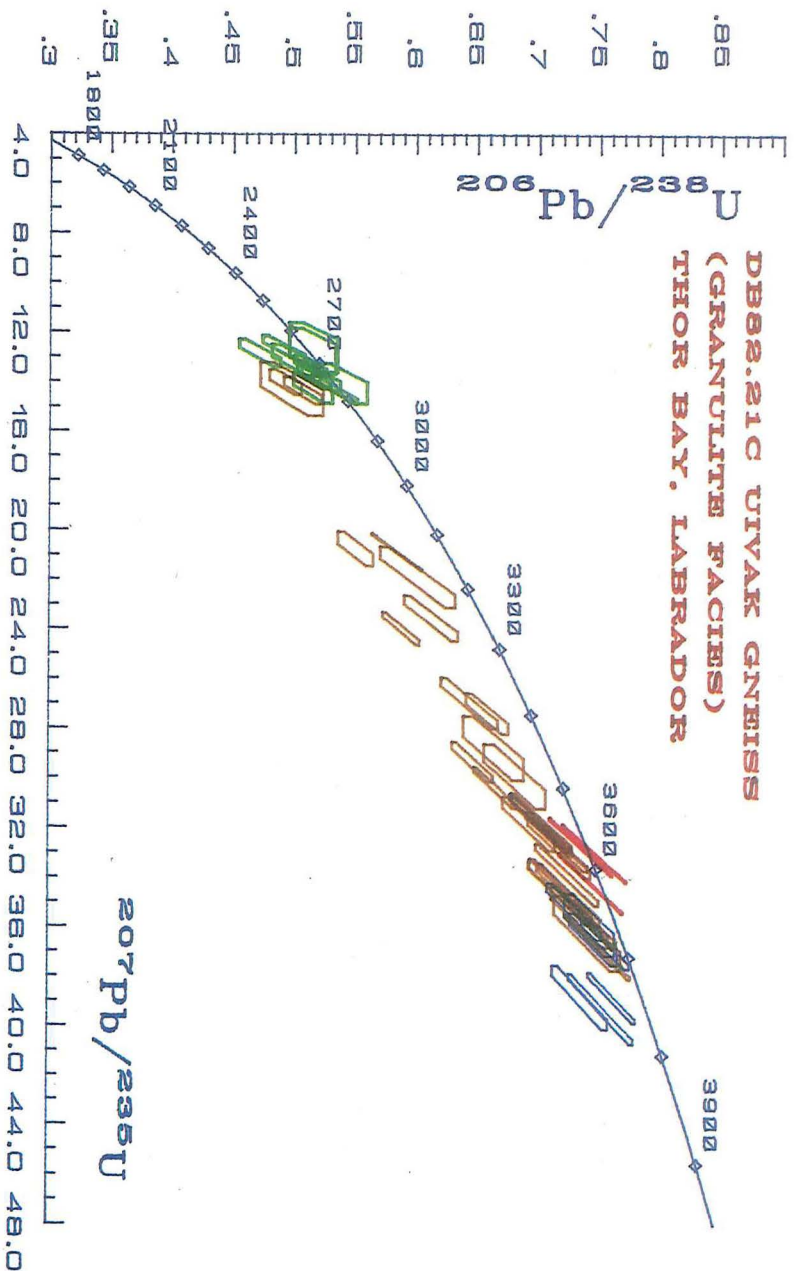


Figur 4. Principskitse af ion-sonden. En zirkonprøve bombarderes af en primær ion-stråle, så de løsrevne ioner (Uran, Thorium og Bly) fra zirkonen fortsætter som en sekundær ion-stråle videre gennem systemet: dels gennem den elektrostatiske analysator og dels gennem et meget kraftigt magnetfelt, hvor den blandede ion-stråle deles op i enkeltstråler af netop uranium, thorium og bly. Tælleren registrerer derefter, hvor mange ioner af hver type, der kommer igennem. Tæller og magnetfelt udgør tilsammen det såkaldte massespektrometer.

Siden 1983 har ion-sonden i Canberra arbejdet rutinemæssigt, og man har især koncentreret anstrengelserne om de gamle bjergarter. Indtil flere gange er 'rekorden' på 3800 millioner år fra Isukasia i Vestgrønland blevet slået. Mest berømt er vel de omtrent 4300 millioner år gamle zirkoner fra en prækambrisk sandsten i Vestaustralien. Her skal det dog bemærkes, at de 4300 millioner år ikke er alderen på selve sandstenen, men på den bjergart, der leverede zirkoner til sandstenen. Zirkonernes alder viser imidlertid, at der allerede på dette meget tidlige tidspunkt i Jordens historie eksisterede en kontinental skorpe. Om der er noget som helst tilbage af dette oprindelige bjergartskompleks, eller om det er helt eroderet bort, ved vi endnu ikke.

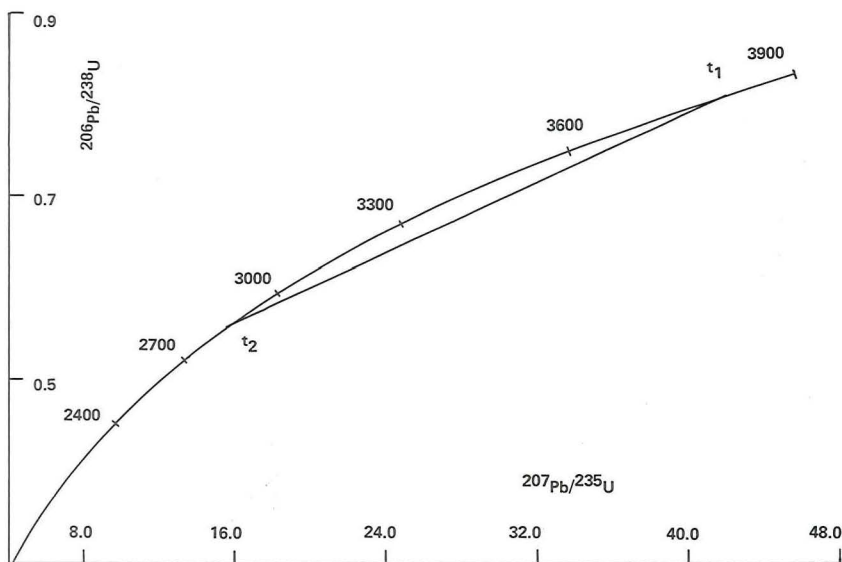
I 1986 var forfatteren gæst ved laboratoriet i Canberra og medbragte fra Labrador og Vestgrønland materiale, som skulle analyseres på ion-sonden for at opstille en aldersrækkefølge for gamle bjergarter i dette nordatlantiske område. Resultaterne af undersøgelserne er vist i et såkaldt 'concordia'-diagram. Den

Figur 5. Concordia-diagram for zirkoner fra Uivak-gnejsen fra det nordlige Labrador. De brune felter omfatter zirkoner, der er dannet ved krystallisation af den oprindelige granit, og de blå felter viser ældre zirkoner, der 'svømmede rundt' i granitmagmaet uden at smelte. De grønne områder repræsenterer zirkoner, der er dannet ved den senere metamorfose, mens de røde 'streger' tæt ved 3600 millioner år er analyser af et drilagtigt, vanskelig tolkbart korn. Den 'kasseformede' afmærkning inden for hver farve udtrykker usikkerheden.



krumme kurve ('concordia'en') viser, hvorledes en 'idealzirkons' uran-bly isotopkemi vil udvikle sig med tiden. En idealzirkon er en zirkon, der ikke er forstyrret af sekundære processer, som f.eks. senere metamorfoser, og tallene langs den krumme kurve angiver alderen i millioner af år efter krystallens dannelses-tidspunkt.

At de analyserede zirkoner ikke alle ligger på den krumme concordia-kurve, men snarere lidt under kurven, skyldes at zirkonerne efter dannelsen har mistet noget af det bly (Pb), der er blevet dannet ved omdannelsen fra uran til bly. Dette bly-tab er ikke så alvorligt, for de to uran-isotoper (^{238}U og ^{235}U) henfalder sideløbende til hver sin bly-isotop (henholdsvis ^{206}Pb og ^{207}Pb), hvilket gør det muligt at beregne faktiske aldre selv på basis af de zirkoner, der har mistet noget af deres bly, og samtidig får man oplysning om, at zirkonen ikke har haft en 'simpel' historie siden den blev dannet.



Figur 6. Samme concordia-diagram som i fig. 5, men her med indlagt t_1 - t_2 -linie, hvorpå de fleste zirkondateringer ligger.

Beregningerne viser, at zirkoner med en oprindelig alder t_1 , og som på et senere tidspunkt t_2 har mistet noget af deres bly, skal ligge 'som perler på en snor' på en ret linie mellem den øvre skæring (t_1) og den nedre skæring (t_2) på concordia-kurven. Størstedelen af de analyserede zirkoner fra Uivak-gnejsen i Labrador ligger stort set på en ret linie, der skærer concordia-kurven ved 3800 millioner år og ved 2770 millioner år. Den øvre skæring (3800 millioner år) svarer nok til bjergartens oprindelige (den 'sande') alder, mens den nedre skæring ofte

er et godt gæt på tidspunktet for den senere metamorfoses alder (2770 millioner år). Dette underbygges af, at der dannes en helt ny generation zirkoner ved den metamorfose, der er hovedansvarlig for bly-tabet i de gamle zirkoner.

De tidligt dannede zirkoner er fint zonerede, hvilket er karakteristisk for udkrystalliserede zirkoner fra intermediære og sure smelter. Den yngre generation af zirkoner består af massive korn, som blev dannet for ca. 2770 millioner år siden, nemlig da den gamle magmabjergart indgik i en prækambrisk bjergkædedannelse, hvorunder også Uivak-gnejsen blev dannet.

Længst til højre i concordia-diagrammet ses yderligere nogle ældre zirkon-aldre. De er bestemt på afrundede kerne-zoner i de magmatisk dannede zirkoner. Disse kerne-zoner har en alder på mindst 3850 millioner år, og de kan tænkes at nedstamme fra brudstykker af bjergarter, der er endnu ældre end den granitiske forløber for Uivak-gnejsen, det kan have været stykker af ikke helt opsmeltede sidesten, der på granitdannelses-tidspunktet flød rundt i magmaet. Der er altså endnu et eksempel på, hvorledes ion-sonden kan afdække detaljer og nuancer i et kompliceret hændelsesforløb, hvor andre dateringsmetoder i bedste fald har givet os alderen på metamorfosen for 2770 millioner år siden.

Oplysningen om det mindst 3850 millioner år gamle 'ur-Uivak'-materiale ville i alle tilfælde være undsluppet vor opmærksomhed, specielt da denne gamle bjergart, hvorfra de ældste zirkoner er kommet, endnu ikke er fundet i felten, men ion-sonde-resultaterne har helt klart stimuleret til eftersøgning af den.



Figur 7. Uivak-gnejsen i det nordlige Labrador kan kendes fra andre gnejsjer i området idet den indeholder metamorfoserede basaltiske gange (sorte slirer).