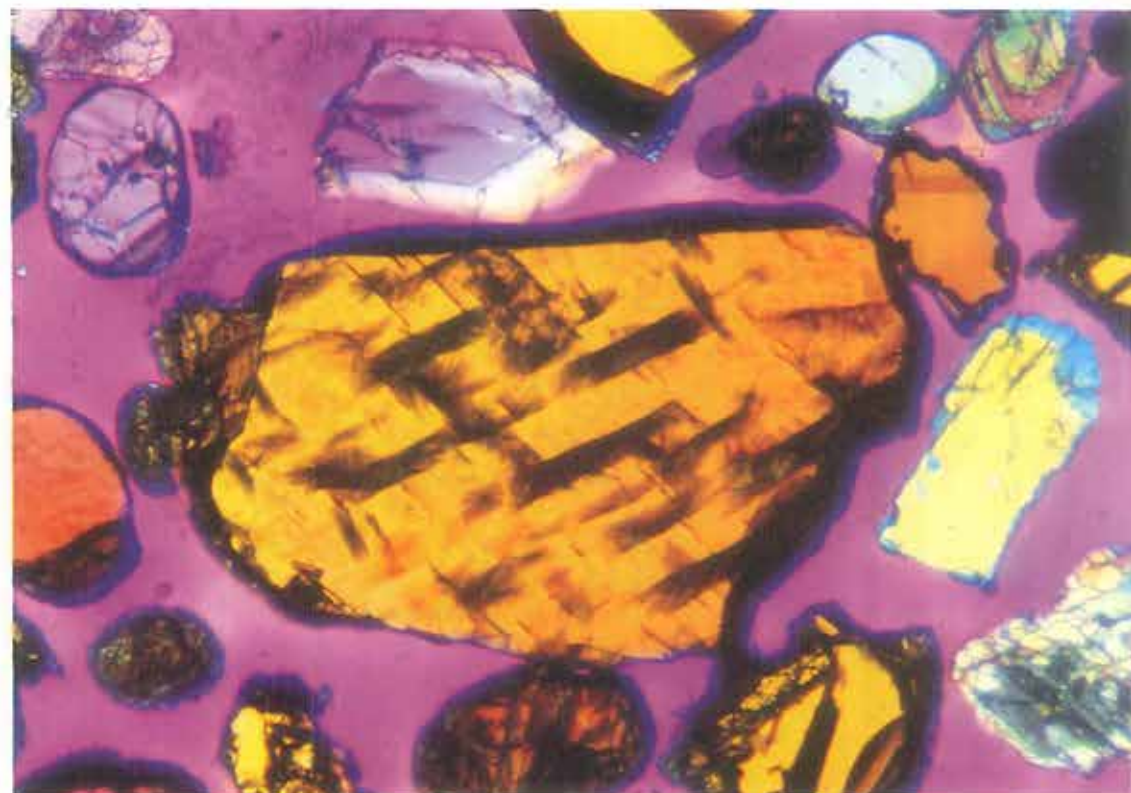




Senpalæozoiske kalksten fra Nordgrønland rummer en meget rig og hidtil næsten ukendt fauna. Mange steder er de Palæozoiske bryozogrupper *Trepomatia*, *Cystoporata* og *Fenestrata* så dominerende, at de ligefrem danner bryozokalk.

I området omkring Station Nord i det yderste Nordøstgrønland forekommer sådanne kalksten med en helt speciel bevaringsform. Her er bjergarten let forkislet, og da forkislingen er koncentreret til dyrenes skeletter, har den naturlige forvitring i det barske klima fremtøst disse skeletter på bjergartens overflade. Det her viste stykke rummer - i tilgift til de grenede, tykke og tynde trepostome og netformede fenestrata bryozoaer - både store enkeltkoraller og flere typer brachiopoder.

Foto: Jan Aagaard.



FORSIDEBILLEDET VISER ET TYNDSLID AF MINERALET RUTIL, DER LIGESOM MANGE ANDRE ØKONOMISK VIGTIGE MINERALER FINDES I TUNGSAND. I DETTE NUMMER FORTÆLLES DER OM TUNGSAND, HVORDAN DET DANNES, OG HVOR DET FINDES.

DER BRINGES OGSÅ EN ARTIKEL OM FOSSILE MUSLINGER I VESTGRØNLAND, OG VI SER PÅ, HVAD DE KAN FORTÆLLE OM KLIMAET FOR 9000 ÅR SIDEN.

Peter undskylder forsinkelsen, og han arbejder for fuld kraft på at få nummer fire færdig snarest.

VARVs samlekasster er desværre udsolgt. Vi har nu fået så mange forespørgsler, at vi undersøger muligheden for at få fremstillet nogle nye til en fornuftig pris. Meddelelse herom vil blive givet her i bladet.

GEOLOGISK MUSEUMS Populære foredrag 1990–1991 er annonceret på side 81.



## VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10 1350 København K. Telefon: 33 11 22 32.

Telefoniske bestillinger og forespørgsler kan rettes til: Svend Pedersen og Steen Sjørring på ovenstående telefonnummer. Skriftlige henvendelser og bestillinger ekspederes snarest muligt.

Redaktion: Svend Pedersen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Lena Madsen, Steen Sjørring og Vivianne Berg-Madsen (Sverige).

Renskrift: Steen Sjørring

Montage: Lena Madsen og Steen Sjørring

Repro: FBN Litho/APS, København

Tryk: Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 75 kr i abonnement for 1990. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 70 SKs til VARVs svenske postgirokonto: 4388-5.

Adresseændringer bedes meddelt VARV !

©1990 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

Dertil kommer en katastrofal mangel på størrelsesforhold. Man aner ganske enkelt ikke, hvor store de afbildede genstande (tænder, knogler eller hele dyr) er, hvis ikke det direkte står i teksten. Bedre bliver det jo så ikke, når man under en *Stegosaurus* anbringer en mand på 50 cm!

Og så mangler bogen henvisninger til andre bøger om emnet, og det er synd, når nu dens berettigelse er som appetitvækker og arbejdsredskab. I hænderne på en engageret underviser af børn i omegnen af 12 år kan der komme noget helt godt ud af den.

Alt i alt en god bog. Bedre forsøgt end fuldendt, men bestemt anbefalelsesværdig, simpelthen fordi den giver råstof til tanker. Man kan gå på opdagelse i den, og så kan man jo blot skræve over de mest fjogede af billedteksterne.

Claus Heinberg

Henning Andersen: Vesuv – den udødelige vulkan. 96 sider, illustreret, *Bogans Forlag*. Pris: 150 kr incl. moms.

Henning Andersens lille bog tager læseren med på en rejse gennem vulkanen Vesuv's udbrudshistorie begyndende med udbruddet i år 79 og sluttende med det seneste udbrud i 1944. Det er første gang, at en beskrivelse af Vesuv foreligger på dansk, og bogen giver et glimrende indtryk af vulkanismens cyklicitet og den indflydelse, den har haft på menneskers bosættelse omkring vulkanen.

En stor mængde data vedrørende vulkanens udvikling og de bagved liggende processer præsenteres for læseren i en meget populær form, og der gives en række spændende beretninger om de katastrofale hændelser, vulkanudbruddene gang på gang har forårsaget.

Bogen er velskrevet, men det bør dog også nævnes, at bogen har nogle mangler i sin opbygning. For eksempel er det ikke muligt – uden et betydeligt arbejde med teksten – at få indtryk af, hvornår vulkanen var i udbrud. Der forekommer gentagelser i teksten, mens et afsnit om Vesuv's geologiske historie ikke indeholder en forklaring på de sidste 3000 års udvikling, den vises kun i et ikke kommenteret diagram.

Den geologiske ordliste burde have været gennemset af en fagmand. Disse mangler skyldes formodentlig, at Henning Andersen har hentet information til bogen fra mange forskellige kilder og ikke afstemt den sammenstillede tekst i tilstrækkelig høj grad.

Resultatet er en interessant bog, som giver vulkanologisk interesserede læsere mulighed for at lære en af Europas mest aktive og velundersøgte vulkaner at kende, men som ikke giver informationerne fra sig på den lettest tilgængelige måde.

Paul Martin Holm

Begge bøger kan fås hos boghandleren.

BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER  
BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER BØGER

David Norman og Angela Miller: Dinosaurer. 64 sider, illustreret, Høst & Søn. Pris 178 kr incl. moms.

Hvis flotte billeder, et godt emne og en i princippet spændende opsætning gør en bog god, så er DINOSAURER fra Høst og Søn en god bog.

Billederne er flotte, og emnet så spændende, at det næsten kan bære sig selv, hvilket desværre har forledt forfatterne til for meget 'smartness' og en tekst, som er mere fragmentarisk, end den brudte lay-out berettiger. For mange gentagelser, og alt for megen intetsigende eller forvirrende fyld-snak.

Bogens ene ide er, at vi skal se tingene før vi får historien, den anden er, at vi skal forstå formerne ud fra deres funktion. Begge ideer er gode, og stedvis lykkes det rigtigt godt. Specielt der hvor et helt skelet af en 26 meter lang *Diplodocus* (slægtsnavne staves fejlagtigt og konsekvent med lille) breder sig ud over 8 hele sider i en fremragende fotografisk gengivelse. Første opslag handler om halse i bredere almindelighed, lange og korte, planteædere og rovdyr. Næste er rygraden med de fire ben under, lidt bastant analogiseret med en hængebro og et græsk tempel. De to sidste opslag langs den 26 meter lange knoglerad er viet halen. To opslag skulle være overflødigt, når nu det første hedder 'Alt om haler'. Alligevel er der sat plads af til halespidsens rolle som forsvarsvåben, modsat halerodens funktion som balanceorgan (som så ikke var 'alt').

Dinosaurernes spisevaner gennemgås smukt med udgangspunkt i en række kranier med forskellige typer tænder, og nogle af de mere bizzarre som andenæbs-, næsehorns-, og pladedinosaurer gennemgås individuelt, igen perfekt illustreret.

Spørgsmålet om dinosaurernes uddøen er viet et enkelt opslag. 'Dinosaurerne forsvandt fra jordens overflade temmelig pludseligt' hedder det indledningsvis. Det er på side 48. På side 60 hedder det i anden sammenhæng, at 'Henimod slutningen af kridtperioden blev der gradvis færre dinosaurer, indtil de til sidst helt forsvandt'. Den indre modsigelse skal forfatterne høste ros for. Det er en usædvanlig kvalificering af den offentlige debat om den sag.

Hypotesen om at dinosaurerne blev slået ihjel af et kæmpemeteor nævnes slet ikke i brødteksten, men beslaglægger tre billeder med tilhørende tekst. Hvad billedet af et brækket hofteben skal, står uforklaret. Snublede de ?

Teksten er bogens svage side. Hovedafsnittene kan endda gå, men de mange løsevne kommentarer til de somme tider lige så løsevne småbilleder er dårlige. De går efter recepten: dette dyr uddøde længe før dinosaurerne opstod. Tidsenheden 'm.å.s.' virker komisk og forvirrende. Det betyder 'millioner år siden'.

# TUNGSAND



af Kent Grimm og Stig Asbjørn Schack Pedersen

Når man går på en dansk badestrand, vil man ofte se nogle mørke draperinger i sandet. Forurening! er den umiddelbare tolkning, idet badegæsterne opfatter det som noget oliegriseri. Men i langt de fleste tilfælde drejer det sig om koncentrationer af tungsand (fig. 1).

Det meste sand langs de danske strande består af kvartskorn, men der er altid et beskedent indhold af en række andre mineraler. Heraf udgør tungmineralerne, der ofte er stærkt mørkefarvede eller sorte, den væsentligste bestanddel. Tungmineraler har en massefylde på over  $2.90 \text{ g/cm}^3$ , mens massefylden for kvarts til sammenligning er omkring  $2.65 \text{ g/cm}^3$ . I de fleste danske sandforekomster vil 1–5 % af sandkornene have en massefylde, der er større end  $2.90 \text{ g/cm}^3$ .



Figur 1. Et ca. 15 cm tykt lag af tungmineraler dækker stranden ved Husby Klit. Bemærk de fine bølgeribber i sandet.

Ved bølgebevægelsen op på stranden sker der en tyngdeseparation af mineralerne, hvorved tungmineralerne kommer til at ligge som mørke bølgede bånd på stranden. Når man ser godt efter, viser det sig, at det mørke sand har changierende farver i brunt og purpurrødt. Dette skyldes det høje indhold af granater, men der ud over er der magnetit, som er sort og hænger fast på en almindelig håndmagnet. Ilmenit er også sort og vil hænge fast på en kraftig håndmagnet. I alt er der omkring 25 forskellige tungmineraler i danske sandaflejringer.

#### Mineraler i det danske tungsand

Blandt de almindeligt forekommende tungmineraler gives i det følgende en nøjere beskrivelse af de 8 mest interessante:

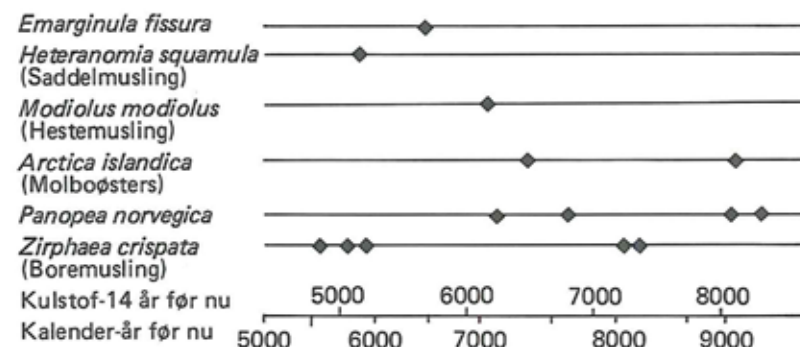
Magnetit er et sort ferromagnetisk mineral i det kubiske krystalsystem. Den kemiske formel er  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}_2\text{O}_4$ , massefylden er 4.9–5.2 g/cm<sup>3</sup>, hårdheden er 5.5–6, og smeltepunktet ligger omkring 1591°C. Der kan forekomme substitutioner med en række andre grundstoffer, hvoraf de divalente ioner kan være Mg, Mn, Zn, Ni og Ti, mens de trivalente kan være Al, Ti, V og Cr.

Tendensen til optagelse af specielt Ti og Ti-molekyler i krystalstrukturen afspejles ved den hyppige forekomst af ilmenitafblandinger, der kan ses i mikroskop. En del af magnetitkornene vil ofte være martitiserede, dette er et udtryk for omdannelsen af magnetit til hæmatit. Sådanne mineralomdannelser er blandt andet beskrevet fra tungmineralforekomster ved Rågeleje Strand.

Titanomagnetit, der er en magnetit med omkring 7 %  $\text{TiO}_2$ , har en meget karakteristisk tekstur. Magnetit i store mængder anvendes som jernressource, men i tungsandssammenhænge anvendes det ikke.

#### GRUNDSTOFFER, DER OMTALES I TEKSTEN

|    |           |    |           |
|----|-----------|----|-----------|
| Al | Aluminium | O  | Ilt       |
| Ca | Calcium   | P  | Phosphor  |
| Ce | Cerium    | Si | Silicium  |
| Cr | Chrom     | Sn | Tin       |
| Fe | Jern      | Ta | Tantal    |
| Hf | Hafnium   | Th | Thorium   |
| La | Lanthan   | Ti | Titan     |
| Mg | Magnesium | U  | Uran      |
| Mn | Mangan    | V  | Vanadium  |
| Nb | Niobium   | Zn | Zink      |
| Ni | Nikkel    | Zr | Zirconium |



Figur 8. Kulstof-14 dateringer af de boreale muslinger og snegle i Grønland. Nederst er 'kulstof-14 år' omregnet til 'kalender år'.

sagen altså findes i oceanet: Den Vestgrønlandske Strøm må have transporteret større mængder af varmt Atlanterhavsvand og/eller mindre mængder koldt polarvand op langs kysten af Vestgrønland.

Hvis denne forklaring er rigtig, må virkningen være samtidig andre steder i det nordatlantiske område, idet den Vestgrønlandske Strøm kun er en mindre del af den nordatlantiske havcirkulation. Det er den tilsyneladende også. Ved Svalbards kyster indvandrede varmekrævende, nu uddøde muslinger nogle få hundrede år før deres opdukken i Vestgrønland. Ligeledes har tidligere undersøgelser vist, at varmekrævende muslinger levede i de nordøstgrønlandske fjorde i næsten samme tidsrum, som de vestgrønlandske boreale muslinger og snegle. Endelig viser nyere undersøgelser på det Canadiske sokkelområde, at der langs de arktiske kyster mod Baffin Bugten er spor efter en periode med varmere vand i samme tidsrum, mens opvarmningen på landjorden først kom senere.

Varmer havstrømme nåede altså ind i Arktis på et tidspunkt, hvor landjorden – i hvert fald i Canada og Vestgrønland – var koldere end nu. Forklaringen på dette kunne være, at havene med deres større evne til at absorbere varme fra solindstrålingen var de første til at reagere på det orbitalt betingede sommerindstrålings maksimum (fig. 1), og sende varmt vand fra sydlige breddegrader ind i Arktis. Årsagen, til at der skulle gå 1000 år før de varme luftmasser begyndte at trænge frem, kunne være, at der indtil for ca. 8000 år siden stadig lå en stor iskappe over det nordlige Nordamerika, som med sin afkøling af atmosfæren skabte et højtryk, der virkede som en barriere for de varme luftmasser.

Denne forklaring, der i øvrigt bekræfter nyere amerikanske computermodelleringer af klimate udvikling, viser, at de 'globale klimaændringer' ikke nødvendigvis rammer hele kloden på samme tid og måde, hverken i fortiden eller i fremtiden.

Dateringerne fordeler sig jævnt over perioden, og det er derfor mest sandsynligt, at dyrene levede her i hele det 3800 år lange tidsrum. I denne periode var havets overfladetemperatur altså nogle grader højere end nu. For at finde årsagen til dette må vi se på klimaudviklingen på landjorden.

#### Søerne og Indlandsisen

Vi er så heldige, at der i Vestgrønland er et usædvanligt rigt materiale at øse af, når det drejer sig om oplysninger om klimaets udvikling siden den sidste istid. Først og fremmest er der pollenanalyser fra søaflejringer, der fortæller om ændringer i områdets bevoksning og søernes liv. Disse undersøgelser er gennem en lang årrække blevet udført ved Botanisk Museum i København. Desuden er der også undersøgelser af isborekerner fra Indlandsisen. Disse er udført ved Københavns Universitets Geofysiske Institut og giver detaljerede oplysninger om globale ændringer i atmosfærens temperatur og strømning.

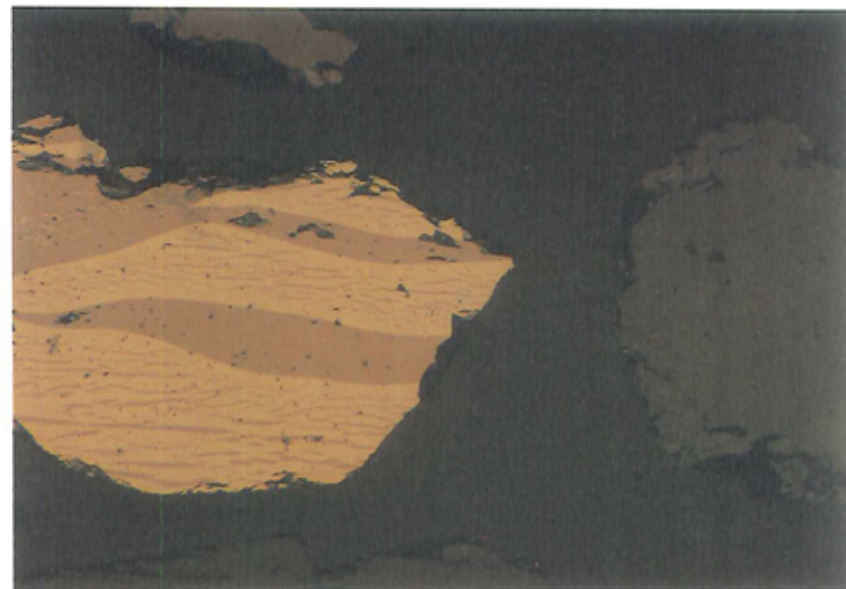
Pollenanalyserne fortæller, at der efter isens tilbagesmeltning for ca. 10.000 år siden fulgte en periode med langsom indvandring af planter på den nøgne jord. I denne periode var den højarktiske damrokke almindelig i de vestgrønlandske søer, hvor den nu er sjælden. Dette tyder på, at sommertemperaturerne var en anelse køligere end de nuværende. For lidt mere end 8000 kalenderår siden ændrede dette sig. Damrokkene begyndte at forsvinde fra søerne, og på samme tid indvandrede de mere varmekrævende dafnier sammen med ferskvandsbryozoen *Cristatella mucedo*, mens tætte grønne heder bredte sig over landet. Indlandsisens rand smeltede tilbage og nåede i Diskobugt området muligvis op til 20 km længere tilbage end den nuværende isrand. Sommertemperaturen må have været højere end nu, 2–3° er anslået af glaciologerne, der har kortlagt israndens tilbagetrækning. Varmeperioden varede indtil for ca. 4200 år siden, hvor dafnierne og ferskvandsbryozoen atter blev sjældne i søerne, og de tætte heder blev afløst af mere åbne bevoksningstyper.

Oplysningerne fra Indlandsisens 'klima-arkiv' stemmer overens med disse resultater og viser, at luftmasserne over Indlandsisen i perioden fra ca. 8000 til ca. 4000 før nu var noget varmere end nu.

Undersøgelserne fra landjorden viser altså, at varmetiden her tilsyneladende var forsinket med ca. 1000 år i forhold til overfladevandet langs kysten, hvor de boreale muslinger indfandt sig for mere end 9000 år siden (fig. 1). Hvordan kan man forklare denne forskel på opvarmningen i havet og på landjorden?

#### Musligerne og verdensrummet

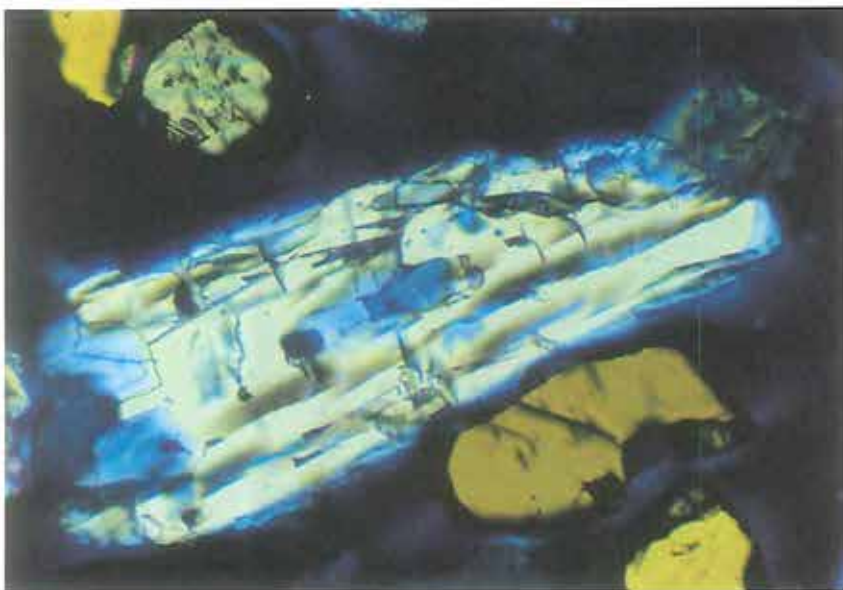
De boreale muslinger og snegle findes – som nævnt ovenfor – netop i det område, der i dag har de højeste vandtemperaturer. Den nuværende fordeling af koldt og varmt vand langs kysterne skyldes det indviklede havstrømsforløb langs Grønlands vestkyst, et forløb som altså også må have eksisteret dengang. Imidlertid var vandtemperaturen nogle grader højere end nu, og da undersøgelserne på land viser, at lufttemperaturerne nærmest var koldere end nu, må år-



Figur 2. Ilmenit/hæmatit afblanding set i poleret tyndslib. Det rødbrune er ilmenit og det gullige er hæmatit. Kornet er ca. 0.25 mm stort. Til højre anes et granatkorn.

Ilmenit er et sort paramagnetisk mineral i det trigonale krystalsystem. Den kemiske formel er  $\text{FeTiO}_3$ , massefylden er 4.4–4.8 g/cm<sup>3</sup>, hårdheden er 5–6. Ilmenit kan indeholde større mængder af  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  og mindre mængder  $\text{MgTiO}_3$  og  $\text{MnTiO}_3$ . Der kan forekomme et væld af afblandinger i ilmenit, det mest almindelige er hæmatitafblandinger, der ofte ligger som distinkte parallelle bånd (se fig. 2), men der kan også forekomme afblandinger af rutil og magnetit. Ilmenit indvindes fra forskellige forekomsttyper, også fra tungsandsforekomster, til fremstilling af Titanium og  $\text{TiO}_2$ . Titanium anvendes i legeringer til fremstilling af meget stærke og lette materialer, der er modstandsdygtige over for korrosion (f. eks. til flyvemaskiner og højhastighedsstål). Titaniumdioxid anvendes hovedsageligt som pigment i maling og er det hvideste af alle pigmenter.

Rutil er et umagnetisk, oftest brunt, nogle gange næsten sort mineral, der hører til i det tetragonale krystalsystem (se fig. 3). Den kemiske formel er  $\text{TiO}_2$ , massefylden er omkring 4.3 g/cm<sup>3</sup> (op til 5.6 g/cm<sup>3</sup> i Nb- og Ta-rige varieteter), hårdheden 6–6.5. Titanium i rutil kan i nogen grad substitueres med Nb, Ta, V, Sn og Fe. Rutilkrystaller har næsten altid smukt udviklede tvillinglameller, og af og til kan de velkendte 'knætvillinger' observeres. Rutil har den samme anvendelse som ilmenit, men er langt mere eftertragtet, da det ikke først skal have fjernet jern ved oparbejdningsprocessen.



Figur 3. Poleret tyndslib med et ca. 0.45 mm langt kyanitkorn. De omkringliggende brune mineraler er rutil. Fotooptagelse med krydsede nicoller.

Leucoxen er et omdannelsesprodukt af andre titaniummineraler. Der er ikke helt enighed om, hvordan leucoxen dannes, men en teori er, at ilmenit kan transformeres til ganske små tilfældigt orienterede anatas-krystaller, der evt. senere kan transformeres til rutil-krystaller. Det herved dannede mineral vil oftest være brunligt til næsten opakt. Under malmmikroskopet vil det afsløre sig som et mikrokrystallint mineral med grubet overflade, der (ofte, men ikke altid) oplyses med et gulligt skær, når man krydser nicollerne. Leucoxen har så stort et  $\text{TiO}_2$ -indhold, at det er lige så eftertragtet som ilmenit og rutil i tungsandssammenhænge, og anvendelsen er den samme som for ilmenit og rutil.

Zirkon er et umagnetisk transparent mineral, der kan være farveløst, gulligt eller brunligt (fig. 4). Det hører til i det tetragonale krystalsystem. Den kemiske formel er  $\text{ZrSiO}_4$ , massefylden er omkring  $4.7 \text{ g/cm}^3$ , og hårdheden ligger nær 7.5. Hf, U eller Th kan substituere for Zr, mens P kan substituere for Si.

Krystaller af zirkon vil under mikroskopet ofte vise sig at være opbygget i vækstzoner. Der kan også forekomme det, man kalder metamict zirkon, der er en zirkon, hvor krystalgitteret er blevet ødelagt på grund af henfald af de radioaktive elementer (Hf, Th og U).

Zirkoniumoxid er et af de mest ildfaste materialer, der kendes, og anvendes til fremstilling af smeltedigler, laboratorieudstyr, kemisk resistente smelteovnssten, højtemperaturcement og lignende. Desuden anvendes det i fremstillingen



Figur 7. Lagene i kystklinerne i det indre af den frodige Ikertoq fjord indeholder store mængder af den store gravende musling *Panopea norvegica*. Indtil for nylig var denne musling kun kendt i ganske få eksemplarer fra Grønland.

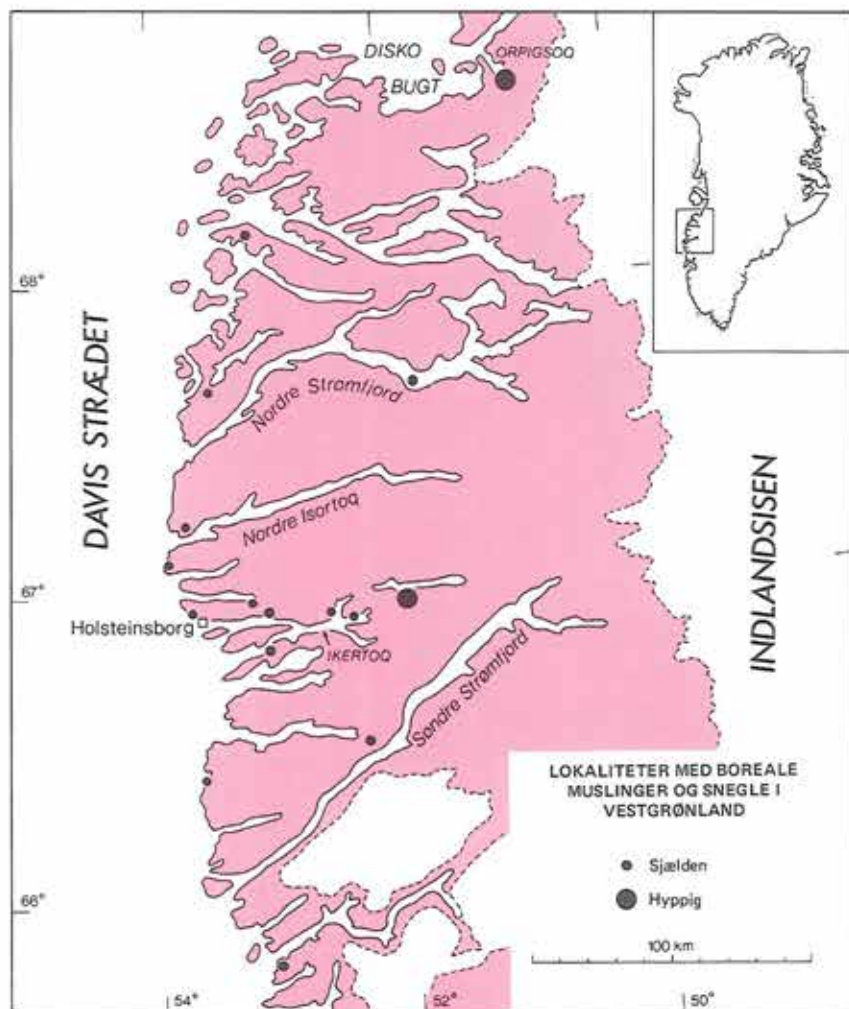
Det ser derfor ud til, at de boreale muslinger i Vestgrønland levede en usikker tilværelse i et marginalområde, hvor de udgjorde en isoleret nordlig udpost, betinget af havstrømmenes forløb.

#### Alderen

Tolv prøver af boreale muslinger, eller faunasamfund med boreale muslinger, er i tidens løb blevet kulstof-14 dateret. De nyeste dateringer er foretaget med den såkaldte 'accelerator massespektrometer metode', der tillader datering af ganske små mængder karbonat fra skallerne. Mens det tidligere var nødvendigt at anvende flere skaller til en datering, kan man med den nye metode nøjes med en del af en enkelt skal. Derved undgås risikoen for at det, man daterer, er en blanding af skaller med forskellige aldre.

Resultaterne viser, at de boreale muslinger og snegle levede ved Vestgrønland i perioden fra 8400 til 4800 'kulstof-14 år' før nu (fig. 8). Desværre er kulstof-14 år ikke det samme som rigtige 'kalender-år', idet atmosfærens indhold af kulstof-14 har ændret sig tilbage gennem tiden. Dateringerne får derved en fejl, der er særlig stor i den periode, vi her har med at gøre. Heldigvis kan man nogenlunde korrigere for denne fejl, og vor kulstof-14 periode svarer til tidsrummet fra ca. 9400 til 5600 kalender-år før nu.

hed (fig. 4). Denne stærkt svingende hyppighed tyder på, at dyrene har levet i et marginalt område, hvor lokale forhold – f. eks. solens opvarmning i et område med begrænset vandudskiftning – har skabt 'oaser', hvor rige bestande kunne overleve.



Figur 6. Udbredelsen af boreale, nu uddøde muslinger og snegle i Grønland. De boreale arter findes kun i et område mellem 65°30' og 68°30' N og kun ved yderkysterne og i korte fjorde.

af maling, billak, som isolatorer for varme og elektricitet og som slibemiddel. Metallet anvendes til blitzpærer, røntgenfiltre, lampefilamenter, punktsvejsningselektroder, indgår desuden i forskellige metallegeringer til panserplader, projektiler samt højhastighedsstål- og fræsestål.

Monazit er et svagt paramagnetisk mineral, der er farveløst til svagt grønt, det hører til i det monokline krystalsystem (fig. 4). I sedimentær form vil det ofte være velafrundet, ægformet og med opløsningsgruber i overfladen. Af og til kan der ses en svag armering med jernoxider.

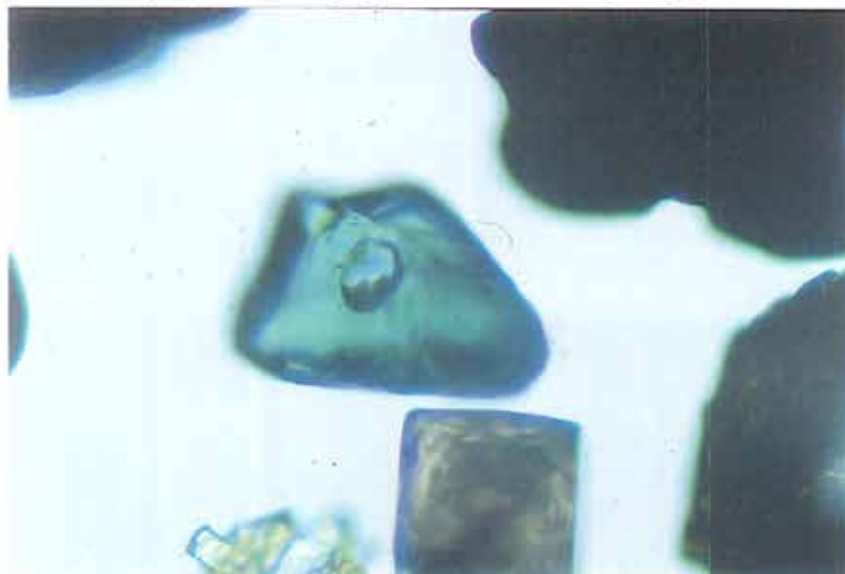
Den kemiske formel er  $(\text{Ce,La,Th,REE})\text{PO}_4$ , massefylden er 5–5.3 g/cm<sup>3</sup>, og hårdheden er omkring 5. Monazit er en vigtig kilde til lette, sjældne jordarts grundstoffer (=REE), der anvendes som katalysatorer ved olieraffinerings og som poleringsmiddel i den optiske industri. Herudover anvendes oxiderne af de forskellige grundstoffer i monazit i et utal af sammenhænge i elektronik-industrien.



Figur 4. Pulverpræparat (Clearax n=1.66) med zirkon i midten flankeret af monazit til højre og staurolit øverst til venstre. Zirkonkornet er ca. 0.15 mm langt.

Granatmineraller er paramagnetiske og transparente mineraler, der tilhører det kubiske krystalsystem. Farverne varierer fra farveløse, brunlige, rødlige til grønne (fig. 5). Den generelle formel for granat er  $\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$ . Aluminiumholdige granater (med Al på B's plads) kan indeholde Mg, Fe, Mn eller Ca (på A's plads) i den generelle formel. Calcium-granaterne vil have Ca på A's plads og et af føl-

gunde grundstoffer på B's plads: Cr, Al, Fe eller Na. Granat har en massefylde på 3.6–4.3 g/cm<sup>3</sup>, og hårdheden varierer mellem 6.5 og 7.5 afhængig af den kemiske sammensætning. Granat anvendes hovedsageligt som slibemiddel og har en slibestyrke, der er 2–6 gange større end almindeligt sandpapir.



Figur 5. Pulverpræparat (Clearax  $n=1.66$ ) med en af de sjældne granater, den grønne chromholdige uvarovit. Kornet er ca. 0.13 mm i diameter.

Kyanit er et umagnetisk farveløst (nogle gange blåligt) mineral, der hører til i det trikline krystalsystem (fig. 3). Den kemiske formel er  $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$ , massefylden er 3.6–3.7 g/cm<sup>3</sup>, hårdheden varierer mellem 5 og 7 afhængig af, hvilken krystalflade, der måles på. Normalt forekommer kyanit som prismatiske farveløse korn med en retvinklet spaltelighed. Hvis der er store mængder kyanit (og evt. sillimanit og andalusit) i en forekomst, vil den kunne oparbejdes til mullit ( $\text{Al}_6\text{O}_5(\text{SiO}_4)_2$ ), der anvendes til fremstilling af ildfaste materialer til bl. a. smelteovne. Det er dog uhyre sjældent, at der er kyanit nok i en tungsandsforekomst til, at det vil kunne betale sig at udnytte det. Tværtimod skaber kyanit oftest problemer i separationen af mineralerne, fordi massefylde, magnetiske- og elektrostatiske egenskaber næsten er ens med de, som langt mere værdifulde mineraler har.

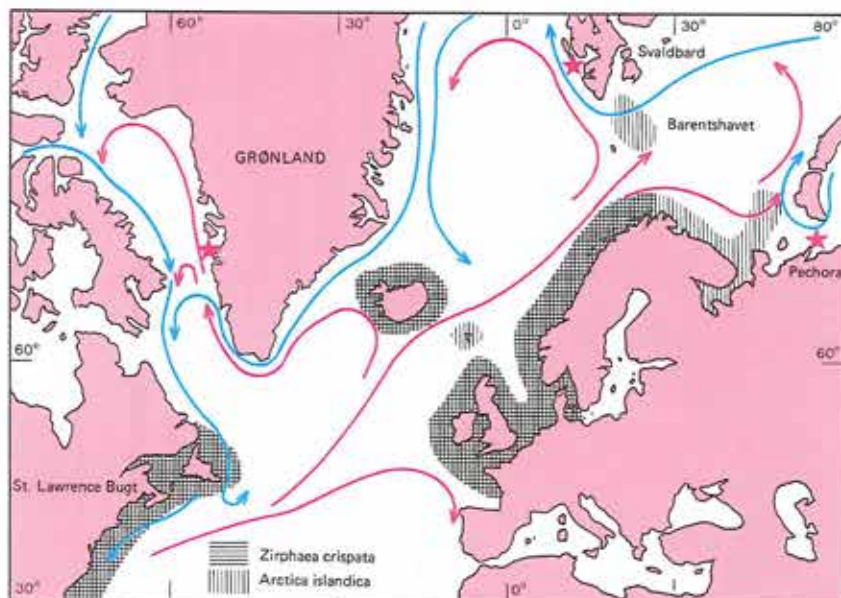
Udover de ovenfor omtalte tungminerale er der i danske sandforekomster fundet en lang række, bl. a.: titanit, hæmatit, epidot, amfibol, pyroxen, apatit, turmalin, muskovit, biotit, zoisit, staurolit, sillimanit, andalusit, anatas, pyrit, gedigent kobber samt nogle mere eller mindre eksotiske mineraler.



Figur 5. Den indre del af Ikertoq fjorden med hævede gamle havaflejringer.

grønlandske Strøm, der drejer rundt om Grønlands sydspids og løber op langs vestkysten. Langs kysten af det sydlige Grønland dominerer det kolde polarvand. Disse vandmasser medbringer en last af pakis, der yderligere holder temperaturen i overfladen nede og til tider kan blokere for sejlads i perioder selv om sommeren. Men på vejen nordpå bøjes de kolde vandmasser af og forsvinder ud i Davis Strædet, hvorefter det varme Atlanterhavsvand kommer til at dominere i de nordlige strøg. Her finder man også de store, lavtvandede fiskebanker, hvor solen kan komme til at opvarme vandmasserne. Dette er forklaringen på, at overfladevandet når de højeste temperaturer, 5–7°C, ikke i Sydgrønland, men i området nord for 65°N br. Det er netop her, vi finder de uddøde boreale muslinger og snegle, og det viser, at der er en sammenhæng mellem deres forekomst og havstrømmenes forløb.

De boreale arter forekommer ved yderkysterne og inde i nogle af fjordsystemerne, men tilsyneladende kun i de korte fjorde som f.eks. Ikertoq syd for Sisi miut (fig. 5). Dette kunne tyde på, at de ikke har brudt sig om de store fjorde, der modtager en stor mængde koldt smeltevand fra Indlandsisen. Endelig er deres hyppighed på de enkelte lokaliteter meget ujævn: i de fleste indsamlinger er de boreale arter kun repræsenteret ved 2–3 skaller, men på nogle enkelte lokaliteter forekommer de i stor mængde. Dette gælder Orpigsoq, den første lokalitet, der blev opdaget (fig. 2). Her er boremuslingen om ikke dominerende så dog særdeles hyppig. I indsamlingerne fra den indre del af Ikertoq-fjorden er det den store gravende *Panopea norvegica*, der optræder med stor hyppig-



Figur 4. De nutidige havstrømme i Nordatlanten samt den nuværende udbredelse af boremuslingen *Zirphaea crispata* og molbøstersen *Arctica islandica*. Stjernerne angiver deres fortidige udbredelse.

Temperaturen i de øvre vandmasser er stærkt præget af luftens temperatur, og det er derfor en rimelig antagelse, når Adolf Jensen og andre forskere forklarede de boreale arters forekomst i det nuværende Arktis ved at lufttemperaturen dengang var højere.

De nye fund fra Grønland, dateret med moderne metoder, tyder imidlertid ikke på, at dette er tilfældet, men at det snarere var ændringer i havstrømmene, der var årsag til de boreale muslingers og snegles første fremtrængen mod nord.

#### Havstrømmene

På kortet (fig. 6) ses lokaliteterne for de uddøde boreale muslinger og snegle i Grønland. Det påfaldende ved fundene er, at de alle findes indenfor den 300 km lange kyststrækning mellem 65°30' og 68°30'N br. Hvorfor findes disse varmekrævende dyr ikke i de sydligste egne?

Forklaringen på dette findes i det indviklede forløb af havstrømme langs den vestgrønlandske kyst. På figur 4 ses, hvorledes den Vestgrønlandske Strøm løber mod nord langs kysten. Den Vestgrønlandske Strøm består imidlertid af to adskilte typer af vand: koldt polarvand fra Det Arktiske Ocean løber ned langs kysten af Østgrønland. Ved sydøstkysten af Grønland løber denne strøm imidlertid sammen med en strøm af varmt Atlanterhavsvand, der stammer fra Golfstrømmen. Tilsammen udgør disse to forskellige vandmasser den Vest-

#### TUNGSANDSFOREKOMSTER I DANMARK

Hvis man skulle tænke på en indvinding af tungsand i Danmark, bør man starte med at se på, hvor der er store sandforekomster. Typisk vil sandforekomsterne dele sig i 4 grupper:

- 1) Strandzoner med klitter
- 2) Marint sand i hævet Stenalderhavbund
- 3) Smeltevandsaflejringer
- 4) Miocæne kvartssandsaflejringer

#### Strandzoner med klitter

Danmark har i forhold til sit beskedne areal mange lange kystzoner. Havets og vindens kræfter danner i forening en effektiv koncentreret af tungminerale. Havet eroderer de gamle istidsaflejringer langs kysterne, og efter en kystparallel transport, hvor mineralerne skyldes op og ned i strandzonen, vil de aflejres et sted, hvor de dynamiske forhold tillader det. Separationen sker i opskylszonen, hvor bølgerne, når de skylder op på stranden, vil have energi nok til at transportere sediment med. Ved tilbageskyllet er energien lavere, idet noget af vandet siver ned i sandet. Dette energitab er tilstrækkeligt til, at kun de lette mineraler vil suges med tilbage. De tunge mineraler vil derfor koncentreres højt i opskylszonen, dette vil især kunne ses efter en god storm.



Figur 6. Stedvis findes der store koncentrationer af tungsand i smeltevands-sand. På billedet ses plan lagdeling i tungsand afsat i smeltevandssand ved Lønstrup Klint.



Figur 7. Et eksempel på hvordan et tungmineral, zirkon, forekommer som accessorisk mineral i en udgangsbjergart med kvarts og feldspat. Ved nedbrydning af moderbjergarten vil tungminerallerne have en større tendens til at overleve end mange af de andre tilstedeværende mineraler. Tyndslib af Hammergranit fra Bornholm.

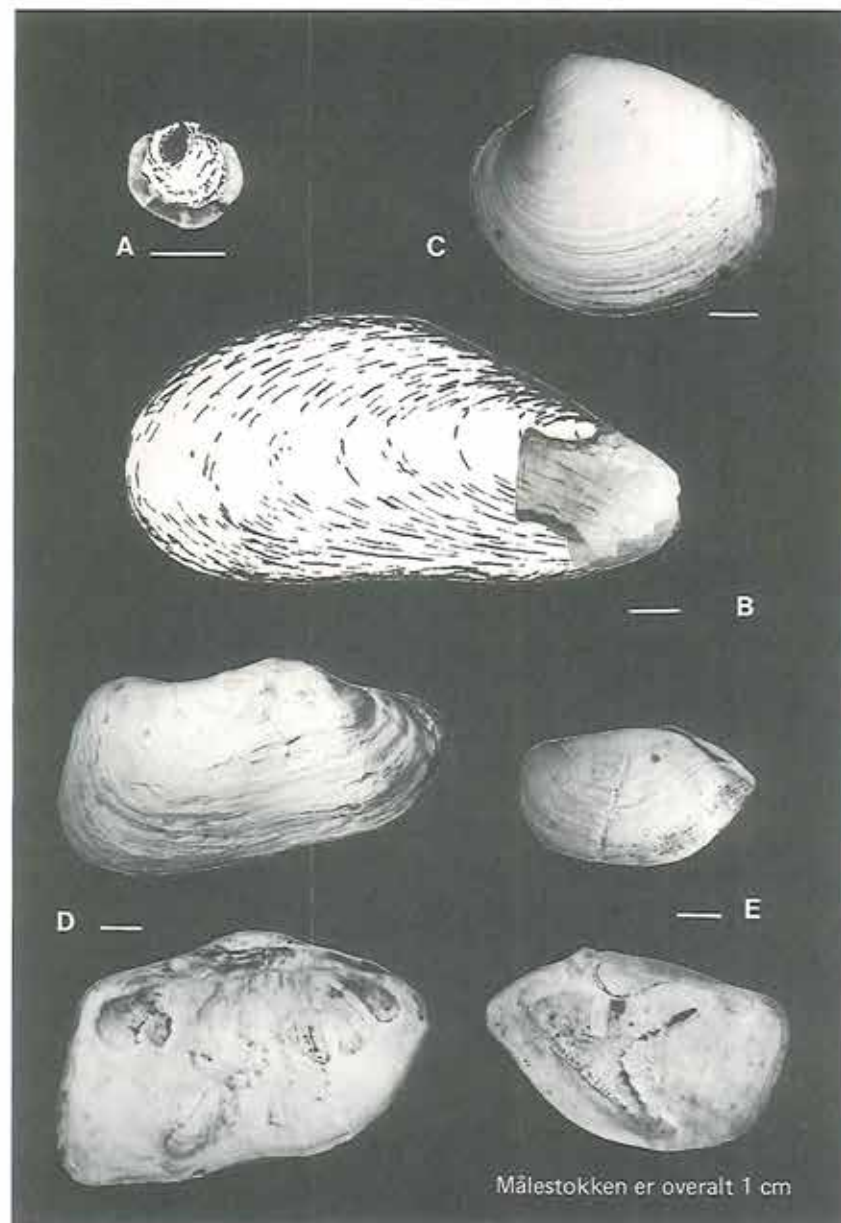
Vinden blæser noget af sandet videre til dannelsen af klitter og miler. Også her sker der en separation, og man vil ofte kunne se tungminerallerne koncentreret på læsiden af jomfruelige klitter og i lavningerne mellem vindribberne. Det var denne forekomststype, der omkring 1960 – uden økonomisk held – blev søgt indvundet på den nordlige del af Jyllands vestkyst.

#### Hævet Stenalderhavbund

I de hævede marine aflejringer, der mest kendes fra Nordjylland, finder man 'fossile' aflejringer, der ganske svarer til de, der findes i nutidens kystmiljøer. I Stenalderen har befolkningen sikkert kunnet iagttage de samme mørke draperinger på stranden, som vi indimellem ser i dag, men de har nok ikke i samme grad funderet over fænomenet. Havde de gjort det, ville de kunne have opnået en større slibeeffekt ved at bruge det granatrige tungsand ved tilvirkningen af deres redskaber.

#### Smeltevandsaflejringer

De økonomisk interessante tungmineraller optræder normalt som accessorier i forskellige bjergarter. 'Accessorier' vil sige, at der er tale om så små koncentrationer af mineralerne, at de udelades ved bjergartsklassifikationen (fig. 7 og 8).



## PORTRÆT AF FEM MUSLINGER

A: Saddelmusling (*Heteranomia squamula*) er beslægtet med Østers og lever fastcementeret til sit underlag, f. eks. sten eller andre muslingeskaller. Den var den første boreale musling, der blev fundet i Grønland i sidste århundrede. De få dyr kunne være kommet drivende langvejs fra fastsiddende på et stykke drivved. Saddelmuslingen er nu kendt fra 4 lokaliteter, så der er næppe tvivl om, at den har levet i Grønland. Saddelmuslingen har i fortiden også levet ved Svalbard, hvorfra den nu er forsvundet.

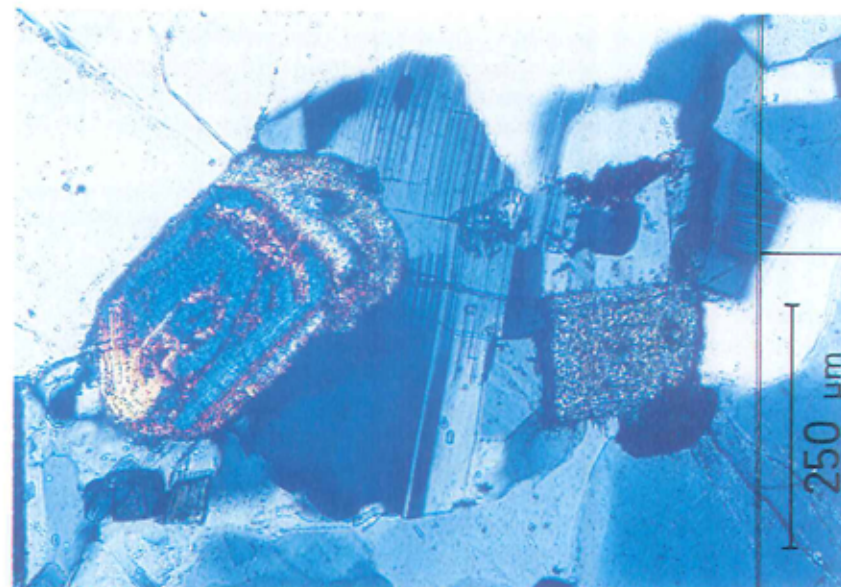
B: Hestemusling (*Modiolus modiolus*) er nært beslægtet med den almindelige blåmusling og lever på samme måde fasthæftet til sten eller tang med de såkaldte byssustråde. Hestemuslingen lever på noget dybere vand end blåmuslingen, men den skylles ofte i land sammen med det tang, den var fasthæftet til, og man finder den ofte på stranden. I det nye materiale fandtes et brudstykke af en enkelt skal af hestemusling, der i øvrigt ikke er fundet på Grønland før. Også den har tidligere levet ved Svalbard.

C: Molboosters (*Arctica islandica*) sidder oftest nedgravet nogle få centimeter under havbunden på ret lavt vand. De kraftige, robuste skaller er fundet på 5 forskellige steder i Grønland, dog ikke særligt hyppigt. Den lever så langt mod nord som Barentshavet, og skallerne er fundet både på Svalbard og i det nordlige Rusland.

D: *Panopea norvegica*. Et af de mest overraskende fund i det nye materiale var store mængder af muslingen *Panopea norvegica*. Af denne sjældne art kendtes tidligere kun ganske få eksemplarer, mens de nyere indsamlinger har vist, at den stedvis har været meget hyppig, især i Ikertoq fjord-systemet. På trods af at det er en af de største muslinger i Nordatlanten er dens biologi dårligt kendt. Det skyldes, at dyrene sidder dybt nedgravet i havbunden. Den kendes heller ikke fra andre steder i Arktis, men er ret almindelig i lag fra Kvartærtidens begyndelse på Nugssuaq-halvøen.

E: Boremuslingen (*Zirphaea crispata*) er en ægte 'borer', der ved mekanisk slid fræser sig ned i kalkklipper og hårdt ler. Dyrene lever på lavt vand, og de karakteristiske skaller findes ofte på stranden. Den findes i store mængder i lagene i det indre af Orpigsoq fjorden, hvor den blev fundet første gang i 1902. Vi kender nu dens skaller fra 4 andre lokaliteter i Grønland, men her er den sjælden. Boremuslingen findes også i lag på Svalbard og ved munden af Pechora floden i Rusland – begge steder langt fra dens nuværende nordgrænse.

Foruden de fem muslinger er der også en snegl i det boreale selskab, den lille hueformede *Emarginula fissura*. Ligesom andre hueformede snegle lever den af at græsse alger på klipper, sten og tang. En enkelt skal af denne karaktæriske snegl blev beskrevet fra lagene ved Nordre Strømfjord, men den er desværre forsvundet fra samlingerne. *Emarginula* kendes fra havaflejringer på Svalbard, hvorfra den også siden er forsvundet.



Figur 8. Nærbillede af zirkonen, der er vist i figur 7. Zirkonkrystallen viset tydelig zonar opbygning. Det omliggende mineral er feldspat, der kendes på tvillinglamellerne. Billedet er optaget med krydsede nicoller.

Moderbjergarterne udsættes for stadig nedbrydning gennem fysisk-, biologisk- og kemisk forvitring. Forvittringsprodukterne kan gennemløbe mange cykler af nedbrydning/omdannelse – transport/aflejring – diagenese/metamorfose før de aflejres i de lag, hvor man finder dem i dag. Disse processer har i Skandinavien været aktive gennem hele den geologiske historie, og specielt i Tertiærtiden og under de kvartære nedisninger transporteredes store mængder materiale fra Norge, Sverige og Østersøområdet til Danmark, hvor det blev aflejret. Senere er det i nogen grad blevet genbearbejdet af havet, vinden, efterfølgende isfremstød og været udsat for forskellige forvittringsprocesser.

Den største interesse knytter sig til smeltevandets aflejringer, hvor koncentrationen af tungminerale er sket ved det strømmende vands evne til at transportere og aflejre sediment. Her vil tungminerale have en tendens til aflejring på steder, hvor vandhastigheden falder. Aflejringsstederne vil være bestemt af det sedimentære miljø (mænderende floder, flettede floder og deltaer). De store hedesletter i det vestlige Midtjylland samt legemer af smeltevandssand og -grus i det meste af Danmark er opbygget af enorme mængder sand, der fortjener grundig undersøgelse for tungminerale.

### Miocæne kvartssandsaflejringer

Store dele af det centrale og vestlige Jylland dækkes af miocænt kvartssand, der

ligger under et mere eller mindre tyndt dække af kvartære aflejringer. I Miocæn udgjorde Danmark et sedimentært 'prisme' på kanten af det Fennoskandiske Grundfjeldsskjold. Store flodsystemer strømmede mod vest ud i Nordsøbassin-  
et, og et deltaområde med sumpskovvækst dannede siden grundlaget for de store brunkulslejer, der er kendt fra bl.a. Søby og Fæsteholt.

Såvel langs den passive kontinentale margin af Australien som ved den passive margin af Nordamerika kendes lignende aflejringer fra Miocæn, hvorfra der udvindes tungminerale i dag.

#### Hvordan indvindes tungsand ?

Med det lille indhold af tungminerale, der er i de fleste danske sandaflejringer, vil det kræve en ret specialiseret metode for at indvinde tungsandet.

**Gravimetri:** Kernen i mineralseparationen er den spiral-gravimetrisk deling, der fungerer ved, at en blanding af sand og vand (grundvand) suges op og kanaliseres til en række spiraler. Når sand/vandblandingen hvirvler ned ad spiralen, vil de lette minerale skyldes højere op ad siden end de tunge, der således elegant frasorteres. Dette er imidlertid en grovseparation, hvor mange af de uønskede minerale findes i koncentratet. For at få frasorteret de værdifulde minerale kræves der flere processer, der kan ses på fig. 9. Ved den videre separation udnyttes man forskellene i mineralernes overfladeresistans samt magnetiske- og dielektriske egenskaber.

**Elektrostatik:** Ved elektrostatisk separation udnyttes mineralernes overfladeresistans. Gode ledere har en lav overfladeresistans og taber deres elektrostatisk ladning hurtigt. Dette udnyttes ved at lade mineralerne falde gennem et elektrisk felt, hvor de så vil afbøjes efter deres elektrostatisk ladning. Ved 'high tension'-metoden ioniserer man først mineralerne og får derved en lidt større afbøjning.

**Dielektrik:** Den dielektriske separation foregår i en væske, der har en dielektrisk konstant, der enten er den samme eller er større, end de minerale, der skal separeres. Mineralerne vil herefter tiltrækkes eller frastødes af et elektrisk felt, der dannes omkring nogle elektroder i væsken.

**Magnetik:** Her udnyttes man forskellen i mineralernes specifikke susceptibilitet (X). De ferromagnetiske mineralers X er større end ca.  $300 \times 10^{-6}$  (magnetits X mellem  $20.000 \times 10^{-6}$  og  $80.000 \times 10^{-6}$ , og for ilmenit ligger værdierne mellem  $172 \times 10^{-6}$  og  $271 \times 10^{-6}$ ). De paramagnetiske mineralers X ligger mellem 0 og  $300 \times 10^{-6}$ , og de diamagnetiske har små negative X-værdier. Ved separationen kan anvendes både elektromagneter og permanente magneter.

Der findes mange sindrige apparater, der alle udnytter de ovenfor nævnte mineralspecifikke egenskaber, både industrielt og på laboratorieniveau.

*Figur 9. Figuren viser, hvorledes indvinding af tungminerale kan foregå som hovedproduktion.*



*Figur 3. Resultatet af ca. 20 minutters gravning i lagene ved Orpigsoq. Til venstre ses den grønlandske hjertemusling, Clinocardium groenlandicus, og den butte sandmusling, Mya truncata. I midten er der eksemplarer af den karakteristiske skråt afskårne boremusling Zirphaea crispata og til højre ses jomfrustørsen, Chlamys islandicus. I nederste højre hjørne ligger eksemplarer af den lille Østersømusling, Macoma balthica.*

I fortiden levede disse dyr altså længere mod nord, og ikke blot i Grønland, men også i det nordøstlige Rusland og på Svalbard findes boreale muslinger og snegle i de hævdede havaflejringer. Det betyder, at forholdene i de øvre vandmasser i det nordatlantiske område var forskellige fra de nuværende. For at forstå disse ændringer, må vi se nærmere på, hvad det er, der betinger dyrenes nuværende udbredelse.

De boreale muslinger og snegle indleder deres liv med et larvestadium, hvor de små larver lever af plankton i oceanets øvre vandmasser. Mens de voksne dyr kan klare sig selv ved lave temperaturer, kræver larverne en god lang og varm sommer med rigelig produktion af planteplankton for at modnes. Det er derfor sommerens længde og vandets temperatur i de øvre vandmasser, der bestemmer, hvor langt mod nord muslingerne kan leve. Ser man på arternes nuværende udbredelse langs Norges kyst og i Barentshavet, ser det ud til, at Molboesters (*Arctica islandica*) kræver en sommertemperatur på mindst  $6^{\circ}$ , mens den noget sydligere boremusling (*Zirphaea crispata*) kræver mindst  $8^{\circ}$ . Som omtalt nedenfor er temperaturerne i vort vestgrønlandske område i vore dage  $5-7^{\circ}$ . De øvre vandmasser må altså have været nogle grader varmere.

'Desuden havde Dr. Engell bragt to andre skaller. Før jeg fortalte ham hvilke arter de tilhørte, og hvilke konklusioner man kunne drage heraf, udspurgte jeg ham om, hvor de kom fra, idet jeg foregav at jeg tog det for givet at disse skaller ved et tilfælde var blandet sammen med de grønlandske prøver, men Dr. Engell fastholdt hårdnakket, at han havde bragt dem hjem fra Grønland.... Da enhver mulighed for fejltagelse syntes at være udelukket kunne jeg ikke længere skjule for Dr. Engell at de skaller, han havde fundet, stammede fra *Zirphaea crispata* og at denne muslings tilstedeværelse beviste, at laget var afsat under mere behagelige klimaforhold, end vi nu-tildags finder ved Grønland'.

Adolf Jensens slet skjulte interesse for de to skaller af boremuslingen *Zirphaea crispata* skyldtes, at han, hvis studier af klimaændringerne ved Grønland og deres indvirkning på fiskebestandene senere blev af stor betydning for oprettelsen af det grønlandske torskefiskeri, allerede tidligere havde fremsat den teori, at klimaet i fortiden måtte have været varmere end nu. Interessen var så stor, at han selv få år efter besøgte den udpegede lokalitet i Orpigsoq i den inderste del af Diskobugten (fig. 2) medbringende geologen Poul Harder. Her fandt han store mængder af boremuslinger, mens Harder lavede en opmåling af klinterne langs elven. Det var således en amatør's uforvarende fund i Grønland, der startede sagen, mens opdagelserne blev gjort i København.

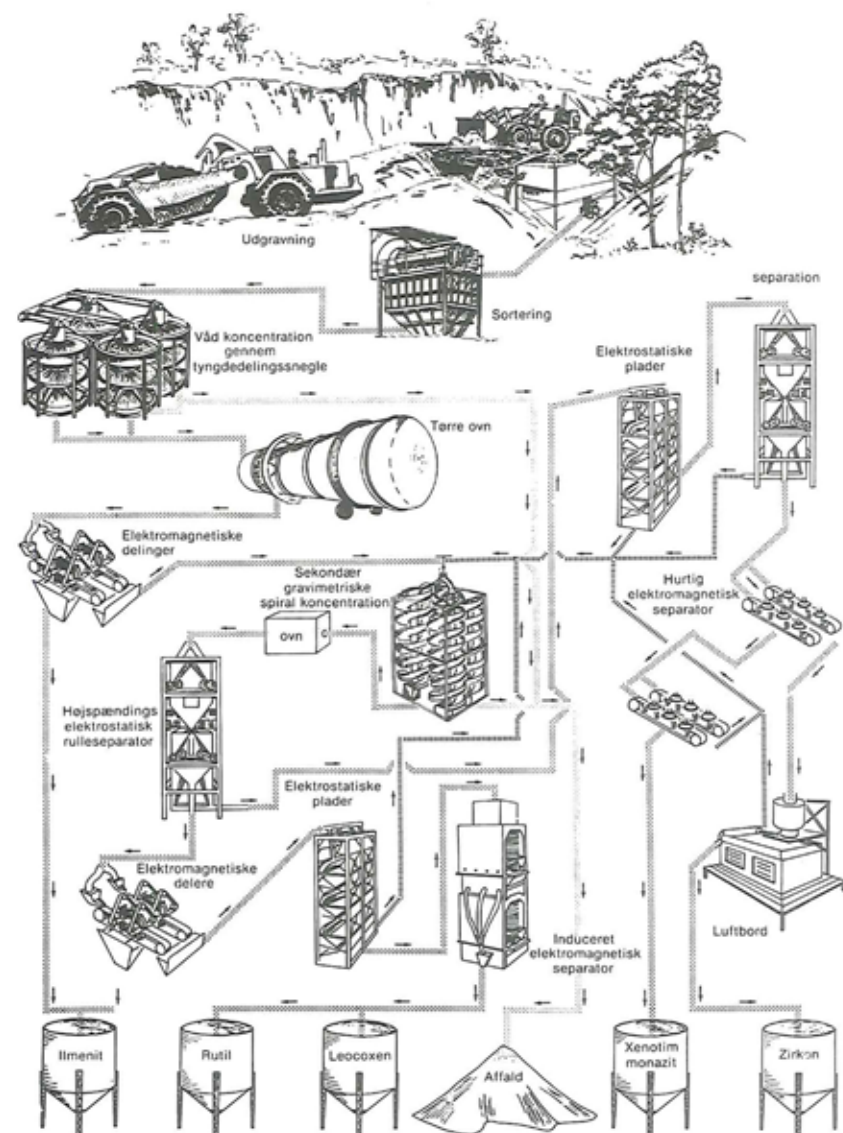
Dette mønster skulle gentage sig i de næste halvhundrede år: nu og da dukkede nye sjældne arter op, men næsten hver gang i materiale, der mere eller mindre tilfældigt var blevet indsamlet og givet til museerne i København af folk, der ikke selv forstod sig på muslinger og snegle. Da geologen Dan Lauersen i en afhandling i 1950 opsummerede fundene var både antallet af varmekrævende arter og antallet af kendte lokaliteter dog stadigvæk mindre end ti.

Det falder derfor ind i mønsteret, at det nyeste kapitel i denne grønlandske historie udspiller sig – ikke i Grønland – men på Geologisk Museum i København. Ved en rutinemæssig gennemgang af indsamlinger, der var foretaget under Grønlands Geologiske Undersøgelser ekspeditioner i Vestgrønland i 60'erne og 70'erne viste der sig et stort nyt materiale af disse særlige arter fra en række nye lokaliteter.

#### De boreale muslinger og klimaet

De seks arter af muslinger og snegle, der nu er fundet, er omtalt på side 86-87. De hører til på meget forskellige levesteder, og det eneste, de næsten har tilfælles, er deres geografiske udbredelse. De hører alle til gruppen af såkaldte boreale bundlevende dyr, som lever i kystområderne i de dele af Nordatlanten, hvor overfladevandet udgøres af varmt Atlanterhavsvand, i modsætning til de nordligere subarktiske og arktiske strøg, hvor koldt polarvand indgår i de øvre vandmasser. Det vil sige, at deres nordgrænse løber fra det sydøstlige Barentshav til Newfoundland og St. Lawrence Bugten (fig. 4). De lever alle i dag ved Islands kyster, og det er givetvis herfra, at de grønlandske bestande blev rekrutteret.

#### TYPISK PROCEDURE FOR SEPARATION AF TUNGSAND



### Hvor indvindes tungsand i verden ?

Langt den største producent af tungsand er Australien. Her startede man for ca. 40 år siden indvindingen af tungsand i strandzonen langs Australiens østkyst. Indvindingen foregik med bulldozer og lastbil og blev foretaget af små private firmaer. Ofte bestod de af enkelte familier, der hyppigt kom op at skændes om rettighederne til sandet på stranden. I 70'erne flyttede tungsandsindustrien til det vestlige Australien, hvor en højteknologisk industriel indvinding blomstrede op til at blive verdens førende producent af tungmineraler. Desuden foregår der tungsandsindvinding i Canada, U.S.A., Sydamerika, Sydafrika, Sri Lanka, Malaysia og Kina.

### Tungsandsundersøgelser på Danmarks Geologiske Undersøgelse

Allerede i 1956 blev der indledt undersøgelser af brydeværdigt tungsand i Danmark. Dengang koncentrerede man sig om tungsandet på de danske strande, og undersøgelsen gik ud på at klarlægge, hvilke tungmineraler der fandtes i koncentraterne, forklare regionale variationer og at beregne reserverne. På grundlag af undersøgelserne blev der startet en produktion, men tiden og teknologien var ikke indrettet til det, så produktionen måtte stoppes. Det giver et historisk perspektiv i udviklingen, at man dengang anså magnetit og zirkon som de mest økonomisk interessante mineraler, og man gik efter forekomster, der i forvejen var stærkt koncentrerede, mens man i dag lægger den største vægt på titanium-mineralerne, og kan udvinde fra store sandmængder med meget lavere lødighed.



Figur 10. Tungvæskeseperation i DGU's sedimentlaboratorium. Separationen foregår i 500 ml skilletragte. Tungvæsken er bromoform, der foruden at være tung er temmelig giftig, så der arbejdes i stinksæk.

Beregningerne viser, at den nordlige halvkugle oplevede sit seneste maksimum af sommer-solindstråling for lidt mere end 9000 år siden (fig. 1). Hvordan virkede det på klimaet ? – Nogle muslingeskaller fra Grønland fortæller historien om, hvordan den orbitale effekt indvirkede på havstrømmene i Nordatlanten.



Figur 2. Den rige muslingefauna i brinkerne ved den brede elv i den indre del af Orpigsoq fjorden blev opdaget første gang i 1902. Siden er stedet blevet besøgt af en række forskere, og det blev antaget, at lagene dækkede samme tidsrum, som Zirphaca havaflejringerne i Vendsyssel. Kustof-14 dateringer viste imidlertid, at de ældste lag ved Orpigsoq er langt yngre (ca. 5500 år gamle) end aflejringerne i Vendsyssel (ca. 13.000 år gamle). De mange skaller af boremuslingen Zirphaea crispata ved Orpigsoq stammer fra en kortvarig opblomstring, der varede nogle få hundrede år.

### En Museumssag

Historien om de grønlandske muslinger begynder en efterårsdag i 1902. Under hængelamperne i et af de højloftede rum i (det gamle) Zoologiske Museum i København sidder to mænd, marinbiologen Adolf Severin Jensen og topografen Dr. Engell. På den grønne linoleumbordplade imellem dem ligger nogle bunker muslingeskaller, som Dr. Engell havde samlet op, mens han arbejdede med kortlægningen i Vestgrønland, og nu var han kommet for at høre marinbiologens mening om dem. Som forventet stammede de fleste fra dyr, der kan findes ganske almindeligt overalt i Grønland, men – som berettet af A. S. Jensen i en afhandling fra 1905:

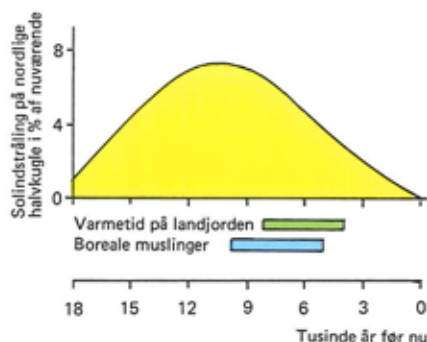
# VERDENSROMMET OG MUSLINGERNE

—MUSLINGER FRA GRØNLAND FORTÆLLER OM ÆNDRERE HAVSTRØMME I NORDATLANTEN

af Svend Funder og Anker Weidick

Jordens klima styres fra rummet — eller mere videnskabeligt: langtids-klimaændringer på Jorden skyldes tilbagevendende langtids-ændringer i Jordens bane omkring Solen og i jordaksens hældning i forhold til Solen. Dette synspunkt har i de senere år vundet mere og mere frem, og ved computerberegninger kan man beregne virkningen af disse 'orbitale kræfter' (se fodnote) på den totale solindstråling og årstidsvariation på forskellige breddegrader — i fortid såvel som i fremtid (fig. 1).

Vanskeligere, men mere interessant er det at beregne Jordens svar på de orbitale ændringer. De overordnede strømninger i atmosfære og oceaner udligner forskelle og forsinker ændringerne, mens forskelle i Jordens overfladeforhold, f. eks. tilstedeværelsen af iskapper, kan bevirke, at varme og kulde fordeles på en anden måde, end den vi kender. Hvis vi vil vurdere fremtidens klimaændringer, må vi prøve at forstå disse mekanismer, og den bedste måde er, at undersøge de fortidige klimasvingninger.



Figur 1. Kurve over orbitale ændringer i solindstrålingen på den nordlige halvkugle i de sidste 18.000 år angivet i procent af den nuværende indstråling. Kurven viser, at sommerindstrålingen toppede for lidt mere end 9000 år siden. De boreale muslinger indvandrede til Vestgrønland umiddelbart efter maksimum for solindstrålingen, mens opvarmningen på landjorden først indtraf ca. 1000 år senere.

Note: De orbitale kræfter, den såkaldte 'Milankovich-effekt' er beskrevet i bogen: Klima, Vejr og Menneske af W. Dansgaard, Geograf-forlaget, 1987.



Figur 11. Magnetseparation i laboratoriet. Mineralerne deles efter deres magnetiske egenskaber på skinnen, der ligger i et meget kraftigt magnetfelt. Det sorte bånd er hovedsageligt ilmenit, og det røde bånd er overvejende granat.

Forskning og udvikling indenfor elektronik og keramiske produkter, markedsforskydninger og øget efterspørgsel, samt forbedret teknik ved indvinding af forekomster med lav lødighed har øget interessen for undersøgelsen af nye forekomster i områder, hvor der ellers ikke har været tradition for udnyttelsen af disse råstoffer. Der er stor videnskabelig og industriel interesse i at få udviklet modeller, der kan sammenstille det væld af faktorer, som styrer udviklingen af forskellige typer af tungmineralforekomster. Dertil kræves: systematisk prøvetagning i forskellige sandforekomster, mineralseparation og kornkurvebestemmelse, mikroskopisk undersøgelse, mineralkemisk undersøgelse, multivariabel statistisk analyse og sammenstillende modellering af ovenstående data samt kvartærgeologiske modeller.

Danmarks Geologiske Undersøgelse har iværksat en systematisk prøveindsamling fra talrige danske daglokaliteter. For hver indsamlet prøve noteres hvilken type aflejring, der er tale om, og hvilke lag der tages prøve fra. Det er tanken, at omkring 200 prøver fra landområdet og godt 100 marine prøver skal indgå som basismateriale i en generel oversigt over danske tungsandsforekomster.

På DGU's mineralseparationslaboratorium udføres både forskningsanalyser og kommercielle analyser. Der anvendes følgende procedure: kornkurven bestemmes ved sigtning, og udvalgte fraktioner bliver tungvæskesepareret (fig. 10).

Dette foregår ved at lægge prøven i en tung væske, hvorved de tunge mineraler falder til bunds og kan frasepareres, mens de lette mineraler flyder ovenpå. Dernæst bliver tungfraktionen separeret i fire dele afhængig af deres magnetiske egenskaber (fig. 11). Af disse magnetfraktioner fremstilles der polerede tyndslib, der danner grundlaget for den mikroskopiske undersøgelse og den mineral-kemiske analyse.

#### Naturforvaltning i forbindelse med tungsandsindvinding

Spørgsmålet om miljøproblemer i forbindelse med tungsandsindvinding vil helt naturligt rejse sig.

**Giftige tungmineraler ?** Det har vist sig, at 'tungmineraler' ofte forveksles med de — i nogle tilfælde — giftige 'tungmetaller'. I tungmineraler er metallerne bundet til krystalstrukturen og kan ikke umiddelbart skabe problemer. Ved indvinding af tungsand anvendes som nævnt almindeligt vand, så her opstår der heller ikke problemer. Miljøproblemer, der kan tages højde for, kunne være:

1) Oxidation af pyrit med forsuring til følge. Dette kan opstå i forbindelse med en beskeden grundvandssænkning, der vil finde sted, når man graver sig ned til grundvandet. Problemet er dog ikke stort, idet pyrit almindeligvis ikke findes i større koncentrationer i velsorteret sand, og grundvandssænkningen vil være meget lille. Dette fænomen vil også kunne forekomme ved vådgravning i grusgrave. Skulle problemet endelig opstå, kan det afhjælpes ved kalkning.

2) Større lagre af tungmineraler liggende på jorden vil ved gennemsvivning af regnvand kunne udluges for tungmetaller og skabe miljøproblemer. I vore miljøbevidste dage er det dog utænkeligt, at man kunne finde på at lagre tungmineraler på en sådan måde, at det ville ske.

3) Indvinding af radioaktive mineraler vil kunne give problemer, hvis der var mange af dem, og hvis de var meget radioaktive. Det er meget lidt sandsynligt at få den slags problemer i Danmark, da de foreløbige undersøgelser tyder på et meget ringe indhold af radioaktive mineraler.

4) Støvproblemer og støjproblemer vil nok være af samme størrelsesorden som ved almindeligt kendte større råstofindvindinger.

#### Landskabspleje

Når en produktion skal påbegyndes, vil man allerede før de første skridt planlægge, hvorledes området skal efterbehandles. Der er flere muligheder. Man kan have den målsætning, at området efter indvindingen skal ligne det oprindelige mest muligt både geologisk og biologisk, eller man kan i samarbejde med amter, kommuner og statens naturforvaltere planlægge og modellere et ellers uanvendeligt område, så det vil kunne fungere som et rekreativt grønt areal.

Under alle omstændigheder vil man kunne indvinde tungmineralerne, så det er fuldt miljømæssigt forsvarligt. Miljøbelastningen vil ikke være større end ved almindelig sand- og grusindvinding.

#### Konklusion

Det kræver mange overvejelser — både af geologisk og ikke-geologisk karakter — når man skal tage stilling til en eventuel indvinding. De ikke-geologiske faktorer involverer overvejelser om tungmineralernes værdi/kvalitet, tilgængelighed (tek-nisk, infrastrukturelt, miljø-, lovgivnings- og ejerforholdsmæssigt) samt økonomi (investeringer, afskrivning, markedsanalyse o.s.v.).

Det er indlysende, at resultaterne fra de geologiske undersøgelser sætter de basale rammer for alle disse overvejelser. Først når rammerne er på plads, kan man begynde at overveje, hvilke indvindingsmetoder der eventuelt kan komme på tale og at undersøge rentabiliteten ved forskellige indvindingsmetoder (f. eks. tungmineral-indvinding som hovedproduktion eller biproduktion), eller om restproduktets værdi bliver væsentligt forøget efter fjernelse af tungmineralerne.

Hvis der indenfor en årrække påbegyndes en egentlig tungsandsindustri i Danmark, vil det hjælpe på landets valutabalace, skabe mange arbejdspladser og være en udfordring for dansk industri. Udført rigtigt vil en indvinding af tungmineraler kunne kombineres med en god og fornuftig naturpleje.

#### GEOLOGISK MUSEUMS POPULÆRE FOREDRAG

- 27. november: Ekspeditioner i Dronning Louise Land, Nordøstgrønland.  
Ved Johan Ditlev Friedrichsen, Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- 11. december: Sorte og hvide dinosaur-æggeskaller.  
Ved Hans Jørgen Hansen, Institut for Historisk Geologi og Palæontologi.
- 22. januar: Havets rige mikro-liv.  
Ved Hans Jørgen Hansen, Institut for Historisk Geologi og Palæontologi.
- 5. februar: Engen, naturens filter.  
Ved Walter Brusch, Danmarks Geologiske Undersøgelse.
- 19. februar: Stillehavsoernes guld.  
Ved C. Kent Brooks, Institut for Petrologi.
- 5. marts: Dinocyster — fossilgruppens særlige karaktertræk og anvendelse til aldersbestemmelse af sedimentær.  
Ved Poul Schiöler, Danmarks Geologiske Undersøgelse.
- 19. marts: Dansk Polarcenter — en nyskabelse.  
Ved Karsten Secher, Dansk Polarcenter.

Foredragene afholdes på tirsdage kl. 19.15 (præcis) i Geologisk Museums Store Auditorium, Øster Voldgade 5. Adgangen er gratis. Ret til ændringer forbeholdes.