



I september 1984 var *Jeremias Petersen* fra udstedet Savigsivik i Nordvestgrønland på sælfangst i sin jolle langs nordkysten af Meteorit Øen. Da det var lavvande, bemærkede han en usædvanlig rusten sten i havstokken, og sammen med en kammerat prøvede han at flytte stenen op på stranden, men de kunne ikke. Næste dag tog fire mand af sted og bragte stenen til Saviksivik og telex'ede til København, at der var fundet en jernmeteorit så stor som en sovende hund.

Jeremias havde ret, og som grønlændere flest, havde han en usædvanlig skarp iagttagelsesevne: Det er første gang en jernmeteorit er fundet i havet. Meteoritten er nu skåret igennem, og en af snitfladerne er ætset med salpetersyre, så man kan se de karakteristiske *Widmanstätten-strukturer* ('Meteoriters fingeraftryk'), der ses tydeligt øverst til højre på den polerede flade.

Den nye meteorit vejer 250 kg og har fået navnet **Tunorput**. Den hører til den vældige Cape York byge, der for mere end 2000 år siden strøede store og små stykker ud over et areal på 100 x 15 km i Nordvestgrønland. Tunorput er udstillet på Geologisk Museum i København, men vil i efteråret blive sendt tilbage til Grønland.

V.F.Buchwald, Institut for Metallære, DTH.



ISSKURET FJELD SES I VORE SKANDINAVISKE NABOLANDE, HER FRA VESTSVERIGE, MEN I ISTIDSAFLEJRINGERNE FINDES DER OGSÅ SKURESTRIBER PÅ STEN, SOM OMTALT I EN BESKRIVELSE AF KYSTKLINTEN VED HEILIGHENHAFEN, ET VÆRDIGT EKSKURSIONSMÅL LIGE SYD FOR FEHMARN. MEGET AF VORT SALT BLEV DANNET I PERM-PERIODEN, VI BRINGER EN ARTIKEL OM DET SENE PERM-HAVS KYSTAFLEJRINGER I NORDØSTENGELAND OG EGGEN SYD FOR HARZEN. FRA TYRKIET ER DER EN SPÆNDENDE BERETNING OM LANDSKAB OG HULEBYGGERI I VULKANSKE ASKEAFLEJRINGER - OG NYE LABORATORIEUNDERSØGELSER I AUSTRALIEN VISER NU, AT VERDENS ÆLDSTE BJERGARTER IKKE LÆNGERE FINDES PÅ GRØNLAND, - MEN DER ER TIL GENGÆLD FUNDET EN NY METEORIT, SOM OMTALES PÅ BAGSIDEN.

Her følger en række artikler, der måske kan være med til at bestemme dit næste rejsemål? Artiklerne er ikke egentlige eksursionsførere, men nærmere en lille facet af, hvad du måske kan møde i det pågældende område. God fornøjelse!

Redaktionen modtager fra tid til anden ønsker om behandling af bestemte emner. Vi prøver også, at finde frem til geologer, der har kendskab til de ønskede emner, men ofte kniber det med at fremskaffe illustrationsmateriale, hvis den pågældende geolog ikke selv har været på stedet. Mange faglige tidsskrifter og bøger er idag med *copyright*, hvilket vil sige, at man ikke må 'låne' billeder derfra uden forudgående aftale. Lån af gode billeder er meget dyrt, op til flere tusinde kroner for et godt billede, og så er det tit en meget langvarig proces, at få en aftale gennemført. 'Glemmer' man at træffe aftale om lån af illustrationer, kan det dog let blive meget dyrere, - der er flere jurister, der lever af den type 'glemsomhed'.

Artiklen om kystklinten ved Heiligenhafen er forfattet af geolog Hans-Jürgen Stephan, Geologisches Landesamt, Kiel. Efter aftale med H.-J. Stephan er artiklen af redaktionen oversat til dansk og er trykt i en version her, som Stephan ikke har gennemset inden trykning. Redaktionen bærer derfor også en del af ansvaret for udvalget af tekst og billeder.

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 01 11 22 32

Kontor: Anita Ege, mandage 9 - 16. Andre dage kan henvendelse ske til Steen Sjørring på samme telefonnummer.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen, Steen Sjørring og Sven Laufeld (Sverige).

Renskrift: Gitte Sjørring

Montage: Steen Sjørring

Repro: Vest-Scan a/s, Esbjerg

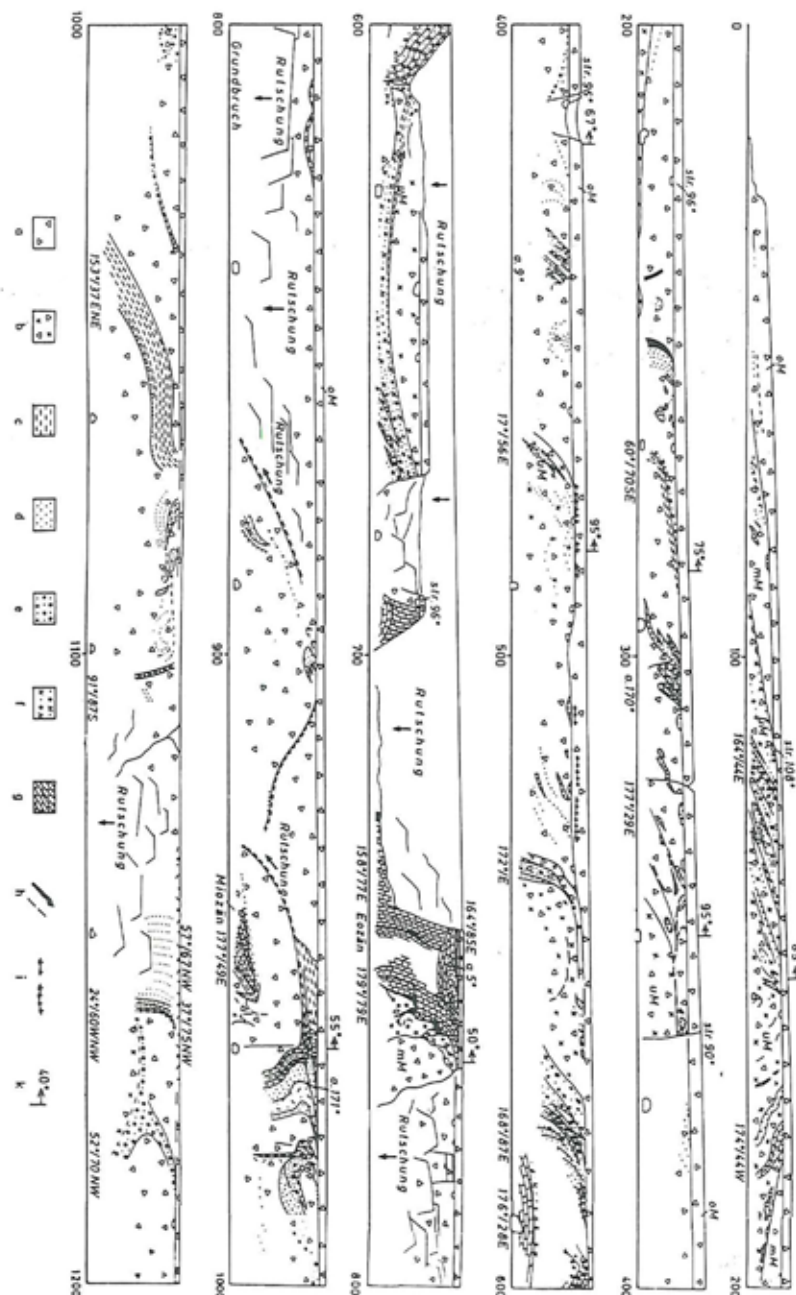
Tryk: Johnsen + Johnsen a/s, København

VARV udkommer 4 gange årligt. Prisen er 66 kr i abonnement i 1987.

Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV. Postgiro 9 06 88 80 eller 60 SKR til VARVs svenske postgirokonto 4388-5.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt Postvæsenet.

© 1987 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.



en. Sammenholdt med retningen af isskuringen ved basis af den øvre moræne kunne det tænkes, at det var en og samme is, der havde frembragt forstyrrelserne i klinten, skuret stenene og endelig aflejret den øverste, dækkende moræne.

Set i en regional sammenhæng er der flere steder i Nordtyskland og Danmark, hvor de to yngste isfremstød synes at være af baltisk oprindelse, og det bestyrker troen på, at den øverste og mellemste moræne i klinten ved Heiligenhafen svarer til disse to fremstød. Den nederste moræne kunne så være afsat af den is, der nående frem til Hovedopholdslinien i Midtjylland, altså en ubrudt følge af de tre sidste isfremstød i sidste istid, Weichsel istiden.

Men det har også været fremført, at de to foldede moræner i klinten 'ligner' Saale moræner, altså skulle de være afsat i næstsidste istid. De hidtil anvendte undersøgelsesmetoder har ikke kunnet give noget entydigt svar, om det er den ene eller anden model, der er den rigtige, eller om der er tale om en kombination. Der er altså en række uløste problemer i klinten ved Heiligenhafen, men de spændende tertiære aflejringer og de næsten lærebogsegne strukturer, der fortæller om isens formåen og virkemåde, gør en tur langs klinten til en indtryksfuld oplevelse, som jo også kan nås på en en-dags rejse fra det sjællandske og sydsvenske område.

PROFILTEGNING AF EN DEL AF KYSTKLINTEN VED HEILIGENHAFEN

Figur 10. H.-J. Stephan's seneste profiltegning (1985) for de østligste 1200 m af klinten ved Heiligenhafen. På selve figuren er med oM, mM og uM angivet henholdsvis: øvre, mellemste og nedre moræne. Str. efterfulgt af et gradtal angiver skurestriberetningen på sten ved basis af den øvre moræne.

Under de enkelte profilafsnit betyder dobbelte gradtal efterfulgt af en kompasretning en lagflades strygning og hældning, mens betegnelsen: a.gradtal er målte foldeakseretninger, der anses for at være vinkelrette på den isbevægelsesretning, der foldede lagene. Rutschung betyder nedskridning.

Signaturforklaringen omfatter: a. moræner, b. moræner med stort indhold af kalksten, c. smeltevandssand og -silt, d. smeltevandssand og -grus, f. smeltevandssand med et stort indhold af den eocæne kiselsten, g. 'Heiligenhafener Kieselgestein', h. 'Tarras' (=plastisk ler), i. en speciel rødlig flintfri moræneslire fra det baltiske område, denne morænetype er ikke nærmere omtalt i teksten, k. gradtal efterfulgt af en pil viser retningen af kysten til venstre (øst) for pilen.

SALTHAVETS GAMLE KYST

af Erling Fuglsang Nielsen

I den yngste del af Perm perioden - det såkaldte Zechstein - blev der aflejret en række sjældne sedimenter i Nordvesteuropa. Lag af samme alder har tidligere været omtalt i Varv (1966-1, 70-1, 75-1 og i 84-2), men især i forbindelse med dannelse og udnyttelse af undergrundens saltstrukturer.

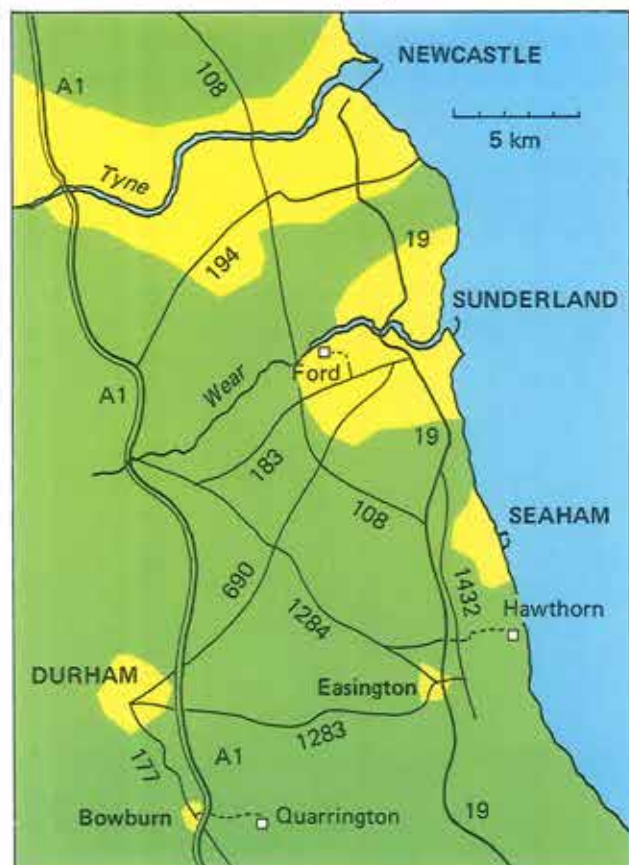
I det danske område er Zechsteinlag dybt begravet under yngre lag, selv hvor de er skudt op i form af saltstrukturer. Intet sted i Danmark er disse lag således blottede, men man kender aflejringer fra Zechstein fra adskillige dybe borer.

Ønsker man at røre ved Zechstein-sedimenter i naturen, må man rejse til vore nabolande, bl.a. Vesttyskland eller England, hvor der findes udmærkede lokaliteter. I det følgende vil vi således koncentrere os om Nordøstengland og egnen tæt ved Harzen.



Figur 1. Zechsteinhavets udbredelse. Både de nordøstengelske lokaliteter (e) og lokaliteterne ved Harzen (h) tilhører bassinets kystnære dele, hvor der findes karakteristiske revaflejringer. Bemærk, at Grønland lå nærmere Europa på dette tidspunkt.

I det ældre Perm, som betegnes Rotliegende, var Nordvesteuropa et udpræget ørkenområde, hvori der ved heftige regnskyl kunne opstå indsøer, der dog næppe havde lang levetid. Nordvesteuropa havde på det tidspunkt et subtropisk, tørt klima, der minder om forholdene i det nordlige Sahara i dag. Vindretningen var dengang fra nordøst, og der blev gennem mange år opbygget kilometerlange sandrygge parallelt med den dominerende vindretning. Disse gamle sandrygge kan ses flere steder i Durham-området syd for Newcastle.



Figur 2. Området syd for Newcastle i England med angivelse af de lokaliteter, der omtales i teksten. Mere gennemgående veje er angivet med numre, og udvalgte byområder med gult. Der eksisterer langt flere grave og brud, end de tre angivne. Derfor kan det anbefales besøgende at anskaffe de topografiske kort 1:50 000, Tyneside blad 88 (området omkring Newcastle) og Teesside and Darlington blad 93 (området syd herfor). På kortene er alle brud og grave angivet.



Figur 8. Rødbrun forvitret mellemste moræneler med sandlinser. Grænsen til øvre moræne vises af de to sten, der er skuret flade på oversiden. 360 meter på profilet fig. 10. Foto: 1979.



Figur 9. Foldstrukturene træder tydeligst frem, hvor der indgår sandslirer i morænerne. Bemærk den meget skarpe kontakt til den øvre uforstyrrede moræne. 290-310 meter på profilet fig. 10. Foto: 1981.



Figur 6. Alle tre moræner østligst i klinten. Den nedre moræne er forvitret og når næsten op til toppen af tommestokken. Herover ses den rødbrune mellemste moræne, skudt ind over den nedre. Øvre moræne er gulbrun med hvide kalkudfældninger i bunden. 105 meter på profilet fig 10. Foto: 1984.



Figur 7. Nedre moræne (brunforvitret i den øvre del) overlejet af den mellemste moræne, der begynder ved sandlinsen. En tidligere spalte i nedre moræne er udfyldt af materiale fra mellemste moræne. Overskydninger har senere forsat spalten. 112 meter på profilet fig. 10. Foto: 1984.

Den øvre moræne er ofte brunlig og delvis kalkforvitret. Indholdet af sten stammer i nogen udstrækning fra de underliggende lag, men i sin sammensætning ligner den måske nok mest den nederste moræne. Ved basis af den øvre moræne, lige i den skarpe horisont der adskiller det foldede fra den udeformerede dækkende moræne, ses stedvis større sten, hvis overflade nærmest ligger i plan med horisonten. Overfladen af disse sten er smukt isskurede, hvilket man også kan se på de nedfaldne sten på stranden. Retningen af isskuringen tyder på, at den skurende is har bevæget sig fra øst mod vest.

Deformationerne i klinten er frembragt af en is, der passerede stedet fra østlig retning, og det synes også sandsynligt, at det er den is, der frembragte forstyrrelserne, er den samme is, som 'kappede' toppen af strukturerne efter foldning.

Men samtidig med dannelsen af sandryggene var det permiske ørkenområde under indsynkning, så ret store landområder kom efterhånden til at ligge under datidigt havniveau - uden dog nødvendigvis at blive dækket af havet! Dette kendes også fra nutiden, hvor f.eks. Death Valley i USA ligger omkring 100 m under havniveau (men uden dog blot at have tilnærmelsesvis samme størrelse, som det datidige Perm-bassin havde).



Figur 3. Overgangen Rotliegende/Zechstein i Quarrington bruddet i Nordøst-england. Det nedre lyse sand, der sikkert er en forvitret del af det underliggende grå sand, tilhører Rotliegende, mens kobberskiferen (det sorte lag) er fra Zechstein. Over kobberskiferen ses der kalkbænke. Da Quarrington bruddet stadigvæk er i drift, skal der indhentes tilladelse til at besøge bruddet.

I løbet af Zechstein skete der imidlertid en nærmest katastrofal ændring, idet der gennem en smal havarm, der strakte sig fra det nuværende Arktiske Ocean forbi Norges vestkyst, strømmede oceanvand ind i det lavtliggende Perm-bassin. Den pludselige indstrømning registreres blandt andet ved, at flere af de dannede sandrygge fik slidt toppen bort, og inden længe dækkede det dannede Zechsteinhav stort set hele det nuværende Nordsø-område, Nordøstengland, Danmark, Nordtyskland og Polen.

De egentlige Zechsteinsedimenter indledes med en tynd sort skifer, der har et ret stort indhold af metaller som kobber, bly og zink. Skiferen er kendt under navnet kobberskifer, og den dækker et areal på omkring 600.000 km². Den



Figur 4. Ford bruddet i det sydvestlige Sunderland i Nordøstengland. I den venstre del af billedet ses bryozo-rev, og længere tilbage ses lagune-sedimenter. På grund af en senere omdannelse (dolomitisering) er indholdet af fossiler sparsomt, men i den østlige væg findes dog hyppigt velbevarede rester af nautiler.



Figur 5. Overfladen af et stromatolitrev (algerev) i Hawthorn i Nordøstengland. Stromatolitstrukturen ses som koncentriske ringe ved hammerhovedet.



Figur 5. Flage af en overklippet foldestruktur i miocænt glimmerler og -sand indesluttet i moræneler. Ca. 950 meter på profilet fig. 10. Foto: 1984.

En tur langs klinten vil overbevise de besøgende om, at der har været mindst forskellige isfremstød at dømme efter antallet af morænebænke, der på bedste geologvis har fået betegnelserne: *nedre, mellemste og øvre moræne*, og de lader sig nogenlunde let skille fra hinanden. Den **nedre moræne** er således lysegrå, den indeholder store mængder af hvide kalksten og sort flint, for at nævne et par bjergartstyper, der umiddelbar fanger blikket. Den nedre moræne dukker op over strandplanet i kernen af de opfoldede lag, og da den samtidig er sej og kompakt, har bølgerne sværere ved at fjerne denne moræne. Den vil derfor tit stå frem som lave 'næser' ved klintfoden.

Den **mellemste moræne** ligger tit direkte i kontakt med den nedre moræne, men kan adskilles synsmæssigt fra denne, ved at indholdet af hvide kalksten og af flint er betydeligt lavere, til gengæld er der et højt indhold af smukt afplattede grønne og rødviolette palæozoiske kalksten. Denne bjergartssammensætning kunne tyde på, at den is, der aflejrede den mellemste moræne har passeret den centrale og østlige del af den nuværende Østersø.

Både den nederste og den mellemste moræne (samt de tertiære lag) er stærkt foldede med akser og overskydningsretninger, der tyder på en isoverskridelse fra en nordøstlig til østlig retning. De foldede strukturer er mange steder skarpt knivskarpt af i toppen og er dækket med et omkring 1 meter tykt dækkende lag, den øvre moræne, der dog mangler over de højeste dele af klinten.



Figur 3. Heiligenhafener Gestein-flage skudt op over moræneler. I grænsezonen ses slirer af fedt, grønt ler. 750-770 meter på profilet, fig. 10. Foto: 1984.



Et enkelt sted i den vestlige del af klinten ses også brunsort glimmerler af Miocæn alder. Alle tre tertiære bjergarter er aflejret et andet sted og er af isen flyttet til Heiligenhafen.

Figur 4. Den østlige del af Eocæn-flagen af Heiligenhafener Gestein, som det så ud i 1961. Dette smukke område af klinten er for længst blevet nedbrudt og fjernet af bølgerne, men med den voldsomme erosion på stedet, kommer nye snit hele tiden frem. Lagdelingen i flagen skyldes en vekslen mellem mere kalkrige og mere kiselholdige lag. 740 m på profilet fig. 10. Foto: 1961.

sorte farve skyldes et vist indhold af organisk stof, og den fine lagdeling betyder nok, at der har været så iltfattige forhold ved bunden, at gravende organismer ikke har kunnet leve her. Dette passer også godt sammen med velbevarede forsteninger af bl.a. fisk, mens de i sig selv viser, at der højere oppe i havvandet har været tilstrækkeligt med ilt. I tærskelområderne, hvor vanddybden har været ringe, mangler skiferen - sandsynligvis på grund af strømme og bølgebevægelse.

Opad afløses kobberskiferen af kalkholdige sedimentter, specielt i randområderne opbyggedes der tykke lag bestående af bryozorev og lagunekalkslam, mens disse lag bliver ganske tynde ud mod bassinets centrale dele.



Figur 6. Kort over den vestlige del af Harzen (grønt). Indsat firkant viser det område, som detailkortet omfatter. Den stiplede linie er jernbanen fra Herzberg til Walkenried, hvor den ender. 3 km østligere i Ellrich begynder banen dog igen.

Der foreligger udmærkede kort og beskrivelser fra alle dele af Harzen. Redaktionen kan bl.a. anbefale en billig 200 siders ekskursjonsfører: Sammlung Geologischer Führer nr. 58, Harz, Westlicher Teil. Forlag: Gebr. Borntraeger. 1975.

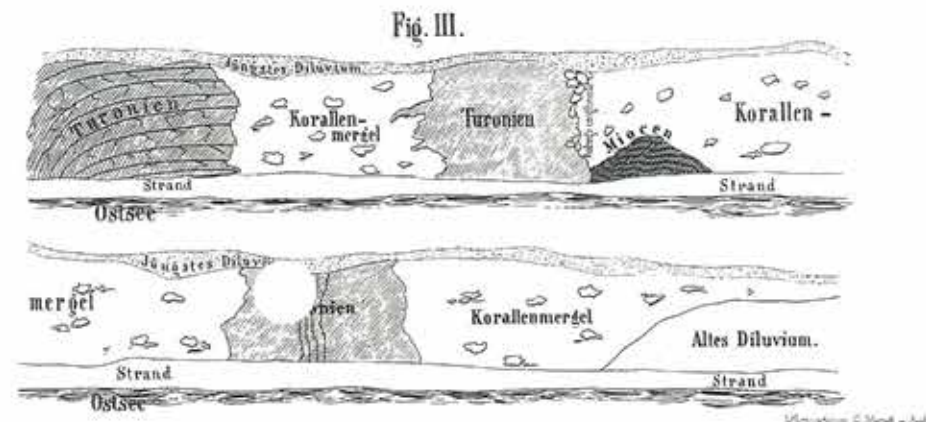




Figur 7. Skitse visende den geologiske opbygning i det nu fredede og forladte brud ved Bartolfelde i det sydvestlige Harz-forland. De hældende lag (g) er en gråvacke (et sandstensagtigt sediment, der består af bjergartsfragmenter) fra Nedre Karbon. Der er en tydelig erosionsdiskordans mellem gråvacken og de efterfølgende Zeichstein-sedimenter (zr), der udfylder ujævnheder i gråvakkens overflade. Zeichstein-sedimenterne består af et bloklag, der blev aflejret i en brændingszone i et hav, hvor den karbone gråvacke har stukket revagtigt op. De løsrevne blokke bliver mindre, jo længere man kommer væk fra selve brændingszonen, og samtidig bliver de mere afrundede. Skitsen, der formodentlig er tegnet af Richter-Bernburg er lånt fra en artikel forfattet af A. Herrmann i Geologisches Jahrbuch, Bd. 72, 1956.



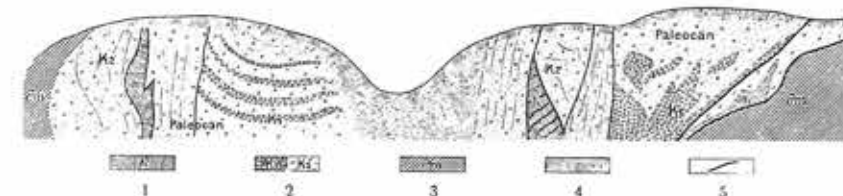
Figur 8. Foto af blokkene fra den tidligere brændingszone, Bartolfelde.



Figur 1. Ludwig Meyn's profiltegning af den centrale del af Heiligenhafen kystklint fra 1863. Figuren er formindsket i forhold til originaltrykket.

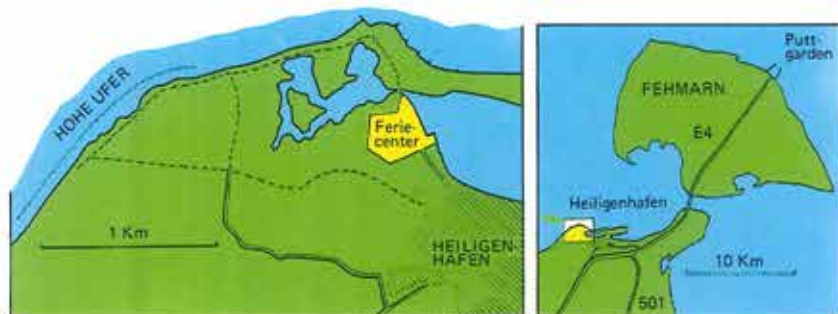
bjergart, der stedvis er kalkholdig og stedvis nærmest er en kiselsten (opaliseret), og mente, at den var af Turon alder (Kridttid). Senere har andre interesserede set nærmere på Heiligenhafener Gestein og udtrykt deres mening om alderen, men det var først efter at mikropalæontologiske undersøgelsesmetoder blev kendt, at det lykkedes at fastlægge alderen til Mellem Eocæn. Der er ikke mange større fossiler at finde, men fra tid til anden findes der dog muslingeskaller, brachiopodskaller og hjætænder.

Yderligere to typer af tertiære bjergarter optræder i klinten. Dels ses en meget fed lertype, der er mørkegrøn til olivengrøn, flere steder som 'smører' i klinten. Denne fede ler er godt kendt fra både Heiligenhafen og fra Fehmarn og er fra gammel tid kendt under navnet: 'Tarras'. Det fede plastiske ler er genkendt i mange borer, hvor det ligger under Heiligenhafener Gestein, det anses derfor som værende ældre end kiselstenen, formodentlig af Nedre Eocæn alder.



Figur 2. En profiltegning af den centrale del af klinten ved Heiligenhafen udført af geologen C. Gagel i september 1908. Gagel opfattede Heiligenhafener Gestein'en som værende af Paleocæn alder. Signaturer: 1. Mørkegrønt fedt ler, 2. Heiligenhafener Gestein med kiselrige lag, 3. 'Øvre' moræner, 4. Blandede istidsaflejringer og nedskredent materiale, 5. Overskydningsplaner/Glideplaner.

HEILIGENHAFEN KYSTKLINT



af Hans-Jürgen Stephan

Heiligenhafen er en lille nordtysk kystby. Mange rejsende fra Rødby-Puttgarden mod syd - i retning af Hamburg - har passeret byen, men måske uden at bemærke skiltene, der viser dertil. For andre er Heiligenhafen et 'kendt' sted, det er der man tager hen på miniferier, fortrinsvis i forårs- og efterårsmånederne, hvor man kan få flotte hotellejligheder til billig pris.

Skulle man nu komme til Heiligenhafen - og trænge til lidt frisk luft - kan en spadseretur langs kystklinterne tæt nordvest for byen anbefales. Her møder en bakkeryg inde fra landet Østersøens bølger, så der over en strækning på godt 1.5 km er et indtil 16 meter højt snit, der viser, hvad bakkeryggen består af. Denne klint - Hohe Ufer - er den mest udsatte i Schleswig-Holstein for tiden; der fjernes omkring 2.5 meter af klinten hvert år mod tidligere omkring 0.5 m. Den forstærkede erosion kan tænkes at stå i forbindelse med anlægsarbejder ved Heiligenhafen, men geologisk set betyder det, at der er friske profiler.

Hohe Ufer er for det meste opbygget af istidsaflejringer, især moræneler, men også mindre indslag af smeltevandssand og -grus, som også er almindeligt i danske kystklinter. Mere spændende er det, at flere af lagene er flot foldede og overskudte, og på grund af den stærke erosion, ses strukturerne ofte særlig godt. I hovedtræk ligger de ældre lag i bløde folder, næsten bølgeagtigt, men i den centrale del af klinten er forstyrrelserne mere voldsomme, og her indgår også tertiære lag i den forstyrrede del. Kystprofilen synes at vise, at der er tale om en isoppresset zone, der sikkert fortsætter videre ind i de svagt buede bakkeformer syd for Heiligenhafen.

Det er dog ikke istidsaflejringerne skyld, at Hohe Ufer blev kendt på et tidligt tidspunkt, - det var i stedet nogle partier af en finkornet, grågrøn til lys blå bjergart, der under navnet 'Heiligenhafener Gestein' blev omtalt og beskrevet af Ludwig Meyn så tidligt som 1863. Han undersøgte denne specielle



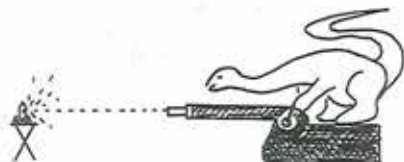
Figur 9. Gips og anhydrit i bruddet ved Römerstein. De friske brudflader består mest af anhydrit, der ved påvirkning af luftens fugt omdannes til gips.

Revmiljøet var præget af et rigt dyreliv, men mod toppen af revene afløses bryozoerne af alger, der danner de såkaldte stromatoliter. Det ser ud til, at dyrelivet bliver fattigere. Denne ændring kan skyldes en stigning i vandets saltholdighed på grund af voksende fordampning, - forbindelsen mellem Zechsteinbassinet og oceanet var snæver, så det kunne være svært at få nyt vand ind. Bryozoer, muslinger og foraminiferer tåler ikke høje saltkoncentrationer, men det kan alger, der dermed blev dominerende på lave vanddybder, for de behøver sollys for at kunne opretholde deres fotosyntese.

Ved fortsat inddampning udfældedes gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og anhydrit (CaSO_4) og endnu senere stensalt (NaCl). Til sidst dannedes de letopløselige kalisalte, bl. a. sylvin (KCl), der viser, at bassinet var næsten helt udtørret.

Denne række af inddampningsbjergarter gentages flere gange og viser, at Zechstein-bassinet er blevet fyldt igen mindst 5 gange. De enkelte sekvenser er ikke ganske ens, og på intet senere tidspunkt i følgen ses den samme biologiske udvikling, som den er antydnet for den første cyklus.

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.



Figur 8. Det indre af en forladt beboelse. Rummet er 15 meter dybt, og bag-
erst ses indgangen til et 10 meter dybt værelse.

Den dag i dag anvendes hulerne stadigvæk som boliger enkelte steder, selvom det blev forbudt sidst i 1950'erne, idet man var bange for sammenstyrtninger i forbindelse med de hyppige jordskælv i området. Der ud over fandt myndighederne også, at det var primitivt og ude af trit med det moderne Tyrkiet, at bo i 'jordhuler'. Derfor kan man i dag komme ind i mange forladte huler, og man forbløffes uvilkårligt over størrelsen af de tidligere boliger (fig. 8).

Foran endnu beboede huler er der ofte bygget en ydermur op for at give et mere 'civiliseret' udseende, se fig. 9.

Men et er sikkert, om nogle millioner år har regnvandet også eroderet disse sidste rester bort.



Figur 9. Beboede huler med delvis opmurede ydervægge. Bemærk, at hulerne er forsynet med elektricitet.



Figur 6. Farvestrålende freske fra en kirke udhugget i tuf-stenen. Fresken er fra det 12. eller 13. århundrede.



Figur 7. En by udhugget i et tuf-bjerg. Enkelte af hulerne er endnu beboede, men de fleste bruges til lagerrum for citrusfrugter og abrikoser. Denne side vender mod vinden og er kraftigt slidt.

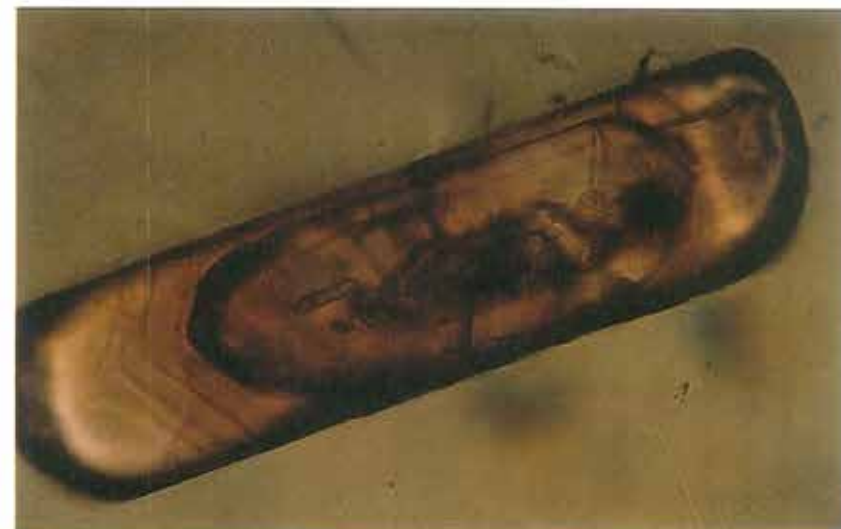
Da forfølgelsen af de kristne ophørte, var det blevet en del af befolkningens liv, at udnytte tuf-bjergene til boliger. Utallige byer skød op, og flere og flere bjerge blev udhulet til boliger og oplagringsrum (fig. 7). Fordelen ved at bo i hulerne var hovedsagelig, at tuf-stenen holder en nogenlunde konstant temperatur, ca. 17^o året rundt.

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 dateringøjemed.



Figur 2. Mikroskopfoto af en zirkonkrystal, der oprindeligt 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 'metamorføsealder' 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.

Men det mest bemærkelsesværdige i Kappadonien er dog de menneskeskabte huler, boliger, kirker og klostre, som er hugget ud i den bløde og sprøde tuf. Denne del af Tyrkiets historie tog sin begyndelse i det 4. århundrede, da kristne folkeslag blev udsat for massiv forfølgelse fra arabere, som ville udrydde de vantro. Det var efter sigende biskop *Basil* (fra den nærliggende by Kayseri) som grundlagde de første af mange små klostre, der i de følgende århundreder blev hugget ind i Kappadoniens tuf-bjerge. Her i hulerne kunne de kristne leve en nogenlunde normal tilværelse, skjult som de var i det forrevne landskab. Det siges også, at man anså tuf-søjlerne med basalt-hatte for vagttårne, som Gud havde sat for at beskytte sit folk.



Figur 5. Kirkebygning fra det 12. århundrede hugget ind i tuf-stenen. Rummet er en nøje kopi af datidnes normale kirkebyggeri. Ydervæggen er styrtet sammen på grund af regnvandets og vindens erosion.

I det 7. århundrede tog forfølgelserne dog til i en sådan grad, at de kristne blev nødsaget til at søge helt under jorden - i bogstaveligste forstand. Ind i de tykke tuf-lag huggede de simpelthen hele byer ud under jordoverfladen. Visse steder findes op til 7 etager nedefter, forbundet med smalle gange, som kunne lukkes med møllestenslignende døre. Adskillige tusinde mennesker kunne på denne måde holde sig skjult i månedsvis, for der var mange underjordiske kilder, og et sindrigt system af luftkanaler forsynede byerne med luft. Mad opbevarede i store forrådsamre, som blev fyldt om sommeren, og adskillige vinpressere har sørget for, at man altid var selvforsynet med den livgivende eleksir.

I de følgende 5-600 år anlagdes mange kirker og klostre rundt om i tuf-bjergene. Kirkerne blev for det meste udhulet som nøjagtige kopier af den tids kirkebygninger (fig. 5), og samtidig blev væggene dekoreret med fresker, som den dag i dag fremstår fantastisk fint bevarede (fig. 6).



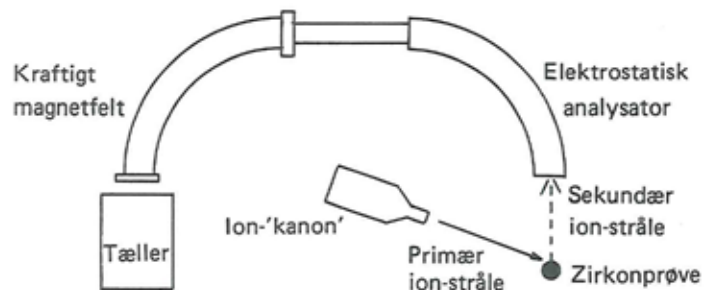
basalt-'hat' falder af. Nogle steder står søjlerne så tæt, at man kan fornemme, at basalhattene engang udgjorde et sammenhængende lag, og de mange tætstående tuf-søjler får let beskueren til at tænke på Tolkiens eventyr. Den lokale befolkning kalder da også tuf-søjlerne for trolde-skorstene. (fig. 4).

Figur 3. To tuf-søjler med 'hatte' af basalt, der har beskyttet de blødere tuf-lag mod erosion fra regnvand. Men vinden har efterhånden slebet de blødeste lag tæt under basalten tynde, så basalhattene vil snart styrte til jorden.



Figur 4. En større samling af tuf-søjler med beskyttende basalt-hatte. Man fornemmer, at basalt-hattene oprindeligt har udgjort et sammenhængende lag.





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 uran, 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 bemærkt 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 'streg'er' tæt ved 3600 millioner år er analyser af et drilagtigt, vanskelig tolkbart korn. Den 'kasseformede' afmærkning inden for hver farve udtrykker usikkerheden.



Figur 2. Dybt nederoderet dal i tuf. De øverste hvide lag er ikke særligt modstandsdygtige, så der er dannet skråninger med bløde landskabsformer. De nedre mørke lag er hårdere og danner en stejl dalside med lodrette furer.

Oprindeligt var landskabet fladt, bestående af udstrakte plateauer, men det er kun få steder, man kan fornemme den oprindelige karakter, for gennem de sidste 3 millioner år har regnvand - millimeter efter millimeter - slidt furer og render ned i plateauet, og senere er de af vandstrømme blevet udvidet til dybe furer og slugter (fig. 2), hvis riflede dalsider varierer i form alt efter hvor hård tuffen er på det pågældende sted. Hvor tuffen er blød dannes afrundede og skrånende dalsider, hvor tuffen er hård, fremstår de hårde partier som forrevne klipper i stejle dalsider. I Nordamerika kendes en sådan landskabsform under betegnelsen 'badland' (=dårligt land), da det næsten er umuligt, at opdyrke det ujævne landskab, der stadigvæk er under nedbrydning.

Hvor der findes tynde basaltlag i tuffen, har regnvandet sværere ved at gnave sig ned. Kun hvor der i forvejen er revner i basaltlaget lykkes det for vandet at fjerne basaltbænken, så resultatet bliver, at basaltskjolde af varierende størrelser ligger som beskyttende 'hatte' eller 'paraplyer' oven på høje tuf-søjler, der står tilbage, når omgivelserne langsomt eroderes bort (fig. 3). Disse tuf-søjler (eng: earth pillars = jordsøjler) forbliver beskyttede mod regnvandets slid, idet vandet udelukkende gnaver sig ned ved siderne af søjlerne, der derfor bliver højere og højere. Men til gengæld bliver søjlerne slidt af vinden, og med tiden slides de så meget, at søjlens 'hals' bliver så tynd, at den knækker, og den beskyttende

ET LANDSKAB I ASKE



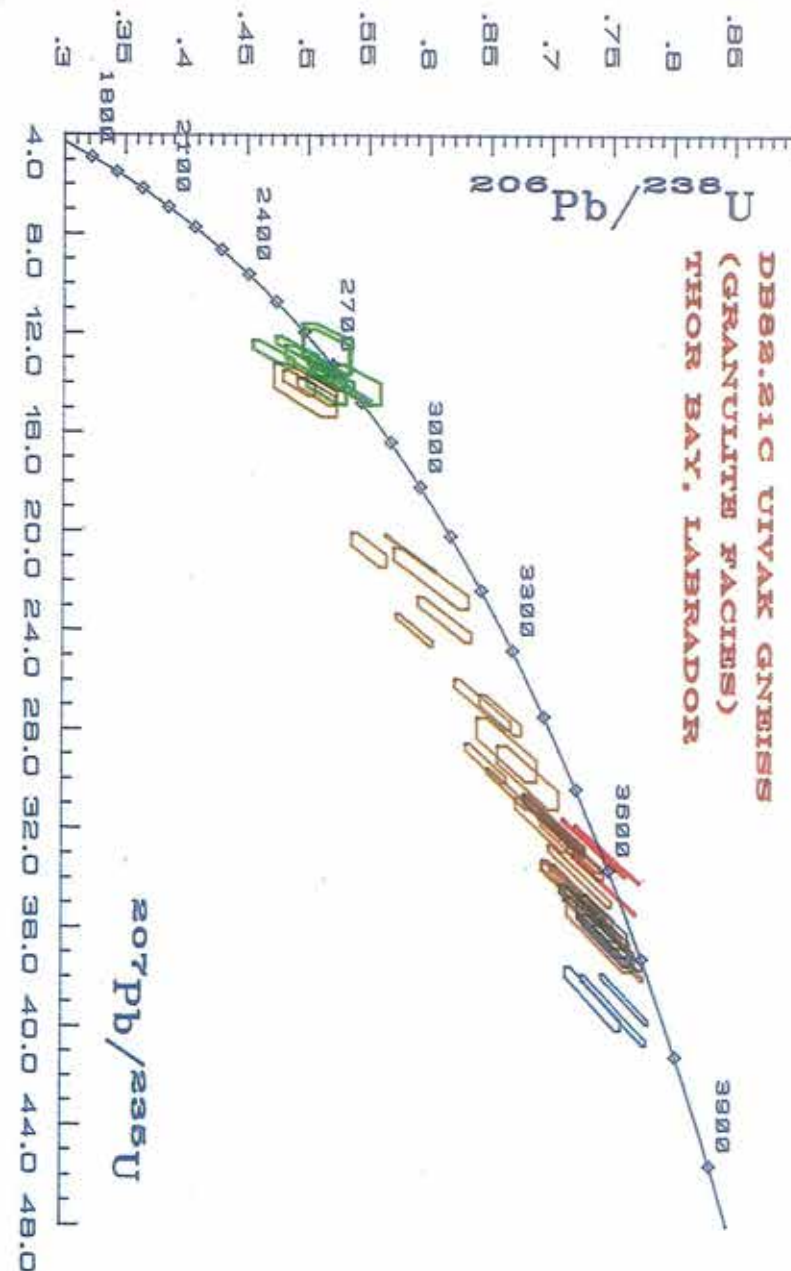
af Henrik Olsen

I sen Tertiær tid - for godt 3 millioner år siden - blev et område på mere end 10.000 km² i Kappadonien i det centrale Tyrkiet (fig. 1) dækket af vældige askemængder, fortrinsvis fra vulkanen Erciyas, men også fra flere mindre vulkaner i området. Vulkanerne var aktive gennem hundredetusinder af år, nogle af dem helt op til historisk tid, så der blev dannet en flere hundrede meter tyk lagserie af vulkansk aske afbrudt af enkelte tynde lavabænke af basalt.



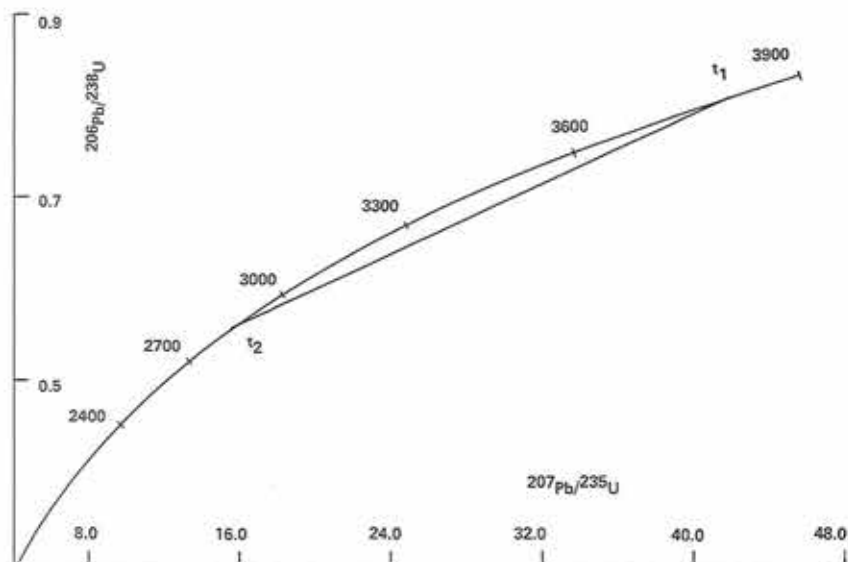
Figur 1. Kappadonien i den centrale del af Tyrkiet. Området, der er vist med en gullig farve, er dækket af et tykt tuf-lag (hærdnet vulkansk aske) efter flere udbrud af vulkaner for mere end 3 millioner år siden.

Siden aflejringen er den vulkanske aske hærdnet til en ret fast bjergart, tuf, der nærmest hænger sammen ligesom den danske bryozokalk, men den består naturligvis af et andet materiale. Tuffen er ikke særlig bestandig over for vej og vind, hvilket gør, at landskabet fremstår kraftigt eroderet. Både forvitringen og menneskers bearbejdning af den sammenkittede bjergart gør i dag området til et særegent og fascinerende landskab, hvis lige næppe findes i Europa eller andre steder i den nære Orient.



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 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 intermediaære 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 gnejser i området idet den indeholder metamorfoserede basaltiske gange (sorte slirer).