



Som det sikkert er en del læsere bekendt, har der gennem en årrække været tradition for, at berømte filmstjerner fik lov til at få 'egen flise', nemlig mulighed for at afsætte hånd- og/eller fodaftryk i frisk cement, vist nok på Hollywood Avenue. Der kan man så andægtigt gå rundt og træde på forskellige kendte og mindre kendte personers aftryk, og det er da sikkert også spændende, at 'prøve hånd' med Marilyn Monroe ? Hun havde sin skæbne, men det havde personen, der afsatte fodaftrykket herover helt sikkert også. Da ovenstående fodaftryk blev afsat ved Managuasøen for ca. 6.000 år siden, blev der næppe skænket sprudlende champagne, - det, der sprudlede, var en dødsensfarlig vulkan få kilometer borte. Så hvad er en Hollywood-stjernes fodaftryk mod dette fodaftryk - omend personen, der satte det, er anonym ?



BILLEDET HEROVER ER FRA KINA. EN DANSK GEOLOG HAR VÆRET EN TUR I KINA FOR AT UNDERSØGE, OM KINAS GAMLE GRUNDFJELD KAN VÆRE OPSTÅET PÅ SAMME MÅDE OG PÅ SAMME TID, SOM GRUNDFJELDET I GRØNLAND. I MERE END 100 ÅR HAR DET VÆRET KENDT, AT DER VAR AFTRYK AF MENNESKEFØDDER PÅ EN MERE END 1000 ÅR GAMMEL STRANDBRED VED MANAGUASØEN I NICARAGUA. HVOR GAMLE ER DE, OG HVILKEN HISTORIE FORTÆLLER DE ? DET DANSKE MOLER HAR GJENNEM ÅRENE BIDRAGET MED EN RÆKKE FLOTTE OG SPÆNDENDE FORSTENINGER, HERIBLANDT FOSSILE FUGLE. NU ER DER FUNDET ET NYT EKSEMPLAR, SOM VARV HAR SET MED PÅ.



Med dette nummer skulle årgang 1986 være komplet, og Peter sender de bedste hilsener til alle VARV-læsere.

Redaktionen er i færd med at samle stof til det første 87-nummer, og Anita er ved at folde giroindbetalingskort, som du vil modtage inden længe. Regnskabsmæssigt har vi konstateret, at vi ikke længere kan holde abonnementsprisen på 60 kr (og 50 SKr), så bliver underskuddet for stort, så vi må desværre hæve prisen noget. Vi er nået frem til, at abonnementsprisen for 1986 bliver 66 danske kroner, og på grund af kursændringer hæves den svenske prenumerationspris til 60 SKr, der således kommer til at modsvare den danske pris igen.

Vi håber, at mange trofaste VARV-læsere også vil følge os i det kommende år, og vi ser også frem til, at mange nye vil komme til. Vil du hjælpe os med det?



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: Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen og Steen Sjørring
Repro: Vest-Scan a/s, Esbjerg
Tryk: Johnsen & Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 60 kr i abonnement i 1986. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV. Postgiro 9 06 88 80 eller 50 SKr til VARVs svenske postgirokonto 4388-5.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt postvæsenet.
© 1986 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.



KALAALLIT NUNAA - NUNA NALISSAQANNGITSUMIK GEOLOGIILIK

- eller som vi kan skrive det på dansk: Grønland - et enestående geologisk område.

Denne titel finder man netop på marts måneds omtale af geologien i Grønland, på en ny kalender om råstoffer og mineraler fra Grønland, udgivet af Grønlands Hjemmestyre. Hvis man nu er lidt træt af billeder af Christiansborg, den tilsandede kirke ved Skagen eller af en lækker rullesteg, så er der her mulighed for at få en lang række billeder med en tilhørende kort forklarende tekst, et oversigtskort over minedrift og mineralfund, samt - naturligvis en kalender, som din nabo nok ikke har. 25 smukke fotografier fra Grønland, et af dem er vist herover.

Kalenderen har tekst på grønlandsk, dansk, engelsk, tysk og fransk. Den har et format på 19 x 26 cm (omtrent dobbelt Varv-side) og koster 49 kr. incl. moms.

Du kan få kalenderen hos din boghandler (Isbn nr. 877366-094-9), hos Grønlands Hjemmestyre, Sjøleboderne 2, 1122 København K (tlf.: 01 13 42 24) eller hos Grønlands Geologiske Undersøgelse, Øster Voldgade 10, 1350 København K.



Stærkt formindsket billede af øglefuglen *Archaeopteryx*. Dette eksemplar opbevares i Berlin.

Forfalskede fjer ?

Fossile fjer er slet ikke så almindelige. Mest berømt er vel *Archaeopteryx*'s fjer, der ligger som fine aftryk i en finkornet kalksten ('lithografisk skifer'), men uden at noget af fjerens materiale (horn) er efterladt. *Archaeopteryx* er fra Jura tiden og er stadigvæk det eneste bevis på, at der har eksisteret 'øglefugle', altså meget primitive og gamle fugle i palæontologernes begrebsverden.

Ser man nøje efter, synes *Archaeopteryx*' fjer aftryk, der er pænt bevarede, at forsvinde ud i kalkstens svagt ujævne overflade, der er ikke nogen tydelige grænser mellem aftryk og omgivelser. Det er nok dette, der har fået astronomen F. Hoyle (der mener, at livet er opstået ude i verdensrummet og er bragt hertil med kometer og meteoritter som 'livs-kim') til at mene, at *Archaeopteryx*' fjer er forfalskede, idet mindste på det eksemplar, der opbevares i London..

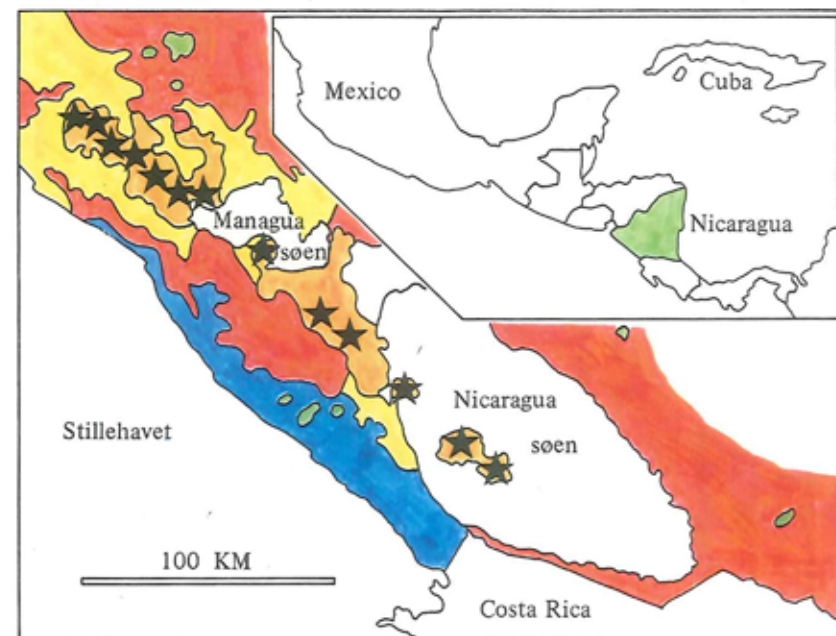
Fossilforfalskninger findes i stort antal, men det lyder lidt søgt, hvis en og samme person/familie skulle have forfalsket de to flotteste fund af *Archaeopteryx* (nu i London og i Berlin) fra 1800-tallet også skulle have forfalsket de 3 eksemplarer, der er fundet i vort århundrede.

Tanken om, at fjer aftrykkene er forfalskninger, har især vundet genklang hos den 'videnskabelige cretonisme', en opfattelse af, at Biblens skabelsesberetning ord for ord er videnskabelig sandhed, i modsætning til Darwinismen, der hælder til udviklingslæren og dermed palæontologien. Tilsvarende stridigheder omfatter diskussioner om muligheder for menneske fodspor sammen med dinosaurers fodspor eller om det er rigtigt, at der er fundet et menneskeligt 'sandal-aftryk' ovenpå en trilobit fra Devon-tiden.

Løbende fødder i Managua

af Robert Lilljequist

Som omtalt i VARV 1983-4 er chancen for at finde velbevarede fossile aftryk af mennesker ganske lille, og muligheden for at finde forstenede fodaftryk fra mennesker er endnu mindre, - men de findes, bl.a. i Nicaragua, og her endda dækket af en 5 meter tyk bänk af vulkanske udbrudsprodukter, mest hærdenet vulkansk aske.



Figur 1. Forenklet geologisk kort over den nordvestlige del af Nicaragua. På kortet ses de helt unge aflejringer af ler og sand som gule områder, de kvartære vulkanske bjergarter er vist med orange, og de terciære vulkanske bjergarter er vist med rødt. Tertiære plutoniske bjergartslegemer er angivet med grønt, og terciære marine aflejringer med blåt. Stjernerne viser placeringen af aktive vulkaner.

Fodsporene blev fundet tæt ved Managuasøen, der er Nicaragua's næststørste sø, som har et areal på omkring 1.000 kvadratkilometer, og ligger i en tektonisk sænke. Måske husker man, at den eneste ferskvandshaj, der er kendt, lever i Nicaragua's største sø, men det er en anden historie. Tilbage til Managuasøen, der

er omgivet af lerede jordarter, som er opstået ved forvitring af vulkansk aske, og det er der nok af, for gennem de seneste millioner af år, har denne del af Mellemamerika været et tektonisk og vulkansk aktivt område på grund af bevægelser langs pladegrænser, der adskiller den nordamerikanske og sydamerikanske plade. I forlængelse af Nicaraguasøen og Managuasøen ligger der en række kratere fra udslukte vulkaner, men også omkring 10 aktive vulkaner, der gennem de seneste århundreder i ny og næ har forstyrret omgivelserne.



Figur 2. Det gamle findested for fodaftryk, der blev opdaget for omkring 100 år siden, er nu blevet restaureret og lagt under tag.



Figur 3. Aftryk efter fødder, der sank dybt ned i de blødeste dele af den lerede strandbred.

I dag er det ikke blot ler af vulkansk oprindelse, der afsættes på Managuasøens bund. Den tjener desværre også som losseplads for alt muligt affald, der urensset kastes eller ledes direkte ud i søen, men for omkring 6.000 år siden var det anderledes.

Dengang var vandet rent og fyldt med fisk, som beboerne omkring søen havde megen glæde af, og måske er det netop fra dem, den gamle opskrift på *Guapote* kommer, den serveres i dag *a la Tipitapa* - helstegt fisk med et tykt lag løg, tomat og stærk spansk peber.

Schack Pedersen's fund (omtalt i VARV 1983-4) af en fugl, var som aftryk i blødt moler. Knoglerne var altså ikke bevarede, som de er i cementstenen. Aftrykket var dækket af en tynd rustskorpe. Alligevel mener medforfatteren *Ella Hoch*, at der nok er tale om en slags skrigfugl, altså en slægtning til isfugle, hærfugle og ellekrager. Disse fugle er i dag farvestrålende tropisk-subtropiske fugle med få repræsentanter i vore tempererede egne. I moleret er der også fundet et brystben fra en fugl, der i følge *Ella Hoch* er beslægtet med *turacoer*, der i dag kun findes i Afrika på savanner og i skove, altså også tydende på, at klimaet var tropisk eller subtropisk.

Om fossilets oprindelige farver kan vi kun gætte. Ingen teknik har endnu kunnet vise, hvilken farve fuglene oprindeligt havde, selv ikke de bevarede rester af fjer oplyser om farven, for de nuancer man ser i de bevarede dele af fjer i cementsten er et lysbrydningsfænomen, ikke fjerfarver. Det samme gælder også for de mange 'farvestrålende' insektvinger, der er fundet.

'Skrigfuglen' fra 1983 er blevet kaldt 'Molerets smukkeste fugl', men fundet fra 1986 vil nok kunne karakteriseres som 'Molerets bedst bevarede fugl', håber vi, for der er lige nu ikke præpareret mere frem, end som det ses på billeder. Den nye fugl burde, hvis den er velbevaret, blive den bedst bestemte fra moleret. Dens slægtskabsforhold må kunne afsløres, og måske vil det også blive molerets mest værdifulde fugl, når vi er færdige ?



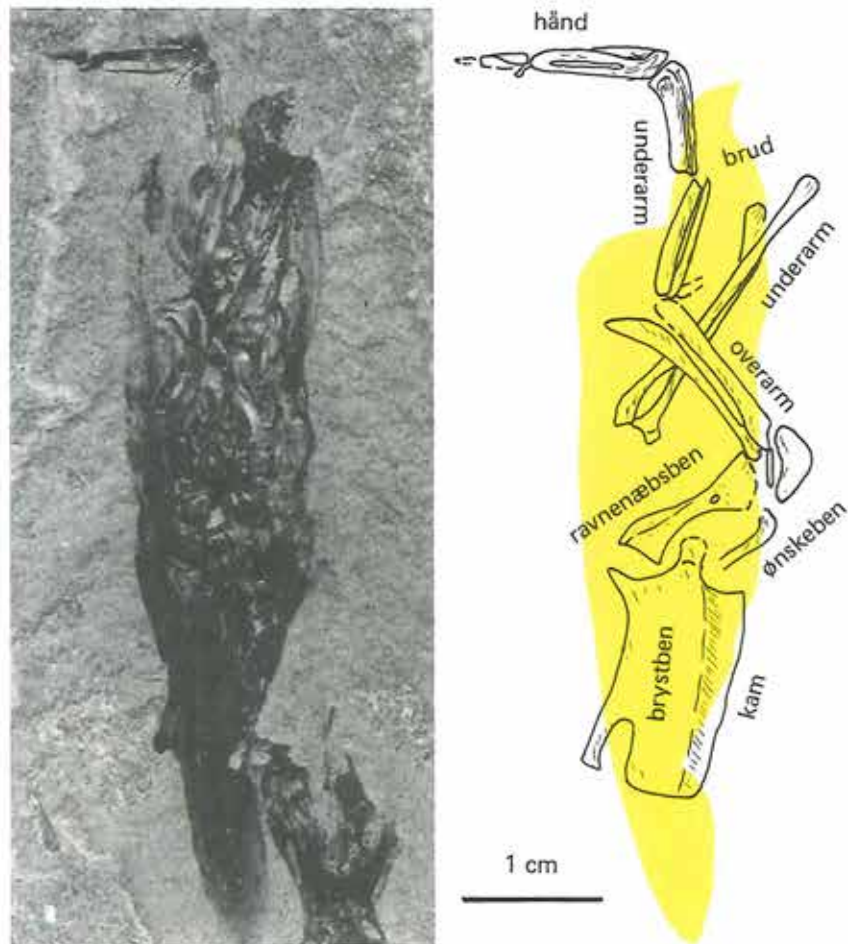
LIDT OM FOSSILE FJER

af Niels Bonde

Løsfund af fjer er ikke helt sjældne i moleret. Som omtalt er der kendt omkring et dusin fjer, men det er ret sandsynligt, at der er fundet mange flere, for hvis fjeraftrykket er dårligt bevaret, minder det meget om utydelige planterester, og derfor er sikkert en del fjer blevet efterladt af samlere.

Den smukkeste fjer fra moleret er nu på Geologisk Museum i København. Den indgik i afdøde M. Jøns' store cementstenssamling, som Geologisk Museum erhvervede i 70-erne.

Løse skeletrester er også kendt fra moleret, for en af Morsø's store fossilsamlere, *Bent Søb Mikkelsen* fra *Sejerslev*, har for et par år siden fundet løse dele af en fugl i et stykke cementsten, nemlig brystben med kam og vinger, endda med nogle svingfjer!. *Bent Søb's* fugl er ikke stor, vingen er omkring 5 cm lang, hvilket giver et vingefang på 11-12 cm, altså på størrelse med en nutidig lille sangfugl.



Figur 6. *Bent Søb Mikkelsen's* fuglefossil med fuglevinger med brystben og sorte aftryk af svingfjer. De vigtigste knogler, som er bevaret fra 'fingerspidsen' til brystbenet (venstre side med 'kammen' på) er tegnet. Underarmen er brækket. Foto: Ole B. Berthelsen.

I hovedstaden *Managua's* vestlige del ligger området *Acahualinca*, betegnelsen kan oversættes med noget i retning af: *hertil nåede vandet*. I denne bydel oprettede man i 1800-tallet et lille stenbrud for at få byggematerialer. De vulkanske udbrudsprodukter var relativt lette at skære ud som kasseformede blokke, der egnede sig fortrinligt til husbyggeri. Man skar og savede blokke ud fra den ca. 5 meter tykke bæk, men en dag opdagede arbejderne et 'mystisk' fodspor i de lerede lag lige under de vulkanske lag. Det gav naturligvis anledning til diskussioner og sære rygter, og det varede ikke mange år, førend de 'mystiske' fodspor var kendt langt uden for *Nicaragua's* grænser.

Få år efter de første fodspor var fundet, ankom amerikaneren *Earl Flint*, der begyndte at undersøge området systematisk. I 1884 skrev han et par sider om sine resultater, der blandt andet indeholdt et gæt på alderen af de fundne fodspor, - de skulle være mellem 50.000 og 200.000 år gamle.

Det gav naturligvis anledning til megen debat i 'de lærde kredse', og en række efterfølgende studier af bl.a. forskere som *Brinton*, *Peet* og *Cranward* antydede en noget yngre alder, nemlig omkring 20.000 år.

Med opdagelsen og anvendelsen af Kulstof-14 dateringsmetoderne efter Anden Verdenskrig tog også geologerne fat. Vulkanologen *Howel Williams* gennemførte nye studier, og på grundlag af korrelationer af askelag og datering af organisk materiale kunne det fastslås, at fodsporene var 5.945 år gamle. De er dækket af aske fra et samtidigt udbrud fra vulkanen *Xilola*, der ligger tæt nordvest for *Managua* på en lille halvø. Udbrudsstedet er nu et vandfyldt krater, en stille og rolig lagune med let salt vand - og er et yndet badested.

Fodsporene ved *Acahualinca* viser tydeligt, at der er tale om en gruppe af mennesker, der er gået fra syd mod nord, fra land ned mod søen. Dengang - som nu - var stranden leret og blød, selvom der var tørkesprækker på overfladen, men det var kun den øvre skorpe, der var tør, for de gående sank lidt ned i det lerede slam, og større personer - vurderet ud fra aftrykkenes størrelse - sank dybere ned og dannede større aftryk end de, der er frembragt af børnefødder. Man kan også se, at nogle dyr har krydset menneskesporene umiddelbart efter de er blevet afsat. Der er således mærker efter en vadefugl, en odder og en hjort.

Det har sikkert ikke været nogen rar dag, da sporene blev dannet. Det ser ud til, at sporene er blevet fyldt med aske umiddelbart efter, at de er dannet, og målingen af afstanden mellem de enkelte fodaftryk synes også at vise, at menneskene har haft travlt, hurtig gang til småløb. Måske flygtede de bort fra det begyndende vulkanudbrud - ned til søen. Måske havde de kanoer af udhulede træstammer liggende parat, - måske håbede de på, at det svalende søvand ville beskytte dem?



Figur 4. Aftryk efter to forskellige kvindefødder på den daværende tørre strandbred ved Managuasøen.



Figur 5. Det nye findested fra 1978. Over fladen med fodsporene kan man ane den 5 meter tykke bænk af det dækkende vulkanske materiale.

Det spørgsmål er ikke opklaret endnu, men ideen om at grave i området mellem det oprindelige findested af fodspor og søen har været prøvet. For snart 10 år siden udgravede Jorge Espizona et 10 x 10 meter stort og 5 meter dybt felt, der i dag er overdækket med et tag, for han fandt sporene! Undersøgelser her synes også at vise, at tempoet er forøget, fodsporene viser småløb !

Hvis der nu blev gravet endnu tættere ved søen, hvad ville vi så finde ? - Tør vi håbe på, at det kun er spor efter menneskefødder og mærker efter kanoer, - eller finder vi måske aftryk af døde mennesker, der ikke kunne modstå den varme aske ?

Der er ikke gravet endnu. Nysgerigheden er stor, men måske er vi bange for, hvad vi kan finde ? - og det bør vi også respektere !

En hel fugl ?

Efter hjemkomsten viste fundet sig at være bedre end som så, for ved nærmere undersøgelse opdagede forfatteren en overset millimeter-stor kommen-formet "ting" i den anden side af stenens overflade. 'En klo' - fløj det gennem hovedet, og ganske rigtigt, for nu er en hel fod med 3 tæer fremad og en lang bagtå blevet udpræpareret. Så nu er det ikke så svært at gætte, hvad der ligger gemt i stenen mellem fod og kranium: Sandsynligvis hele resten af fuglen - eller i alt fald næsten resten, for dele kan jo være gået tabt, som tidligere fund viser.



Figur 5. Den nye fugls ene fod er delvis frempræpareret. Det først opdagede tåled er den krumme klo, der ligger ovenpå et andet tåled. Målestokken er igen 10 mm lang. Foto: Ole B. Berthelsen.

En tidligere molerfugl

Studerterkurserne på Mors har tidligere vist sig givtige med hensyn til flotte fuglefund. I 1982 samlede Schack Pedersen og Claus Heinberg en næsten hel fugl (VARV 1983-4) i moleret i kystklinten nord for Salgerhøj. Denne fugls tæer var desværre slidt bort, men bagben, bækken, rygrad og kranium hang sammen. Også lange fjer fra halen var bevaret som aftryk, mens brystben og vinger desværre manglede. Derfor er det ikke sikkert, at den 'nye' fugl er komplet, - som vi ved fra stegte kyllinger, går en fugl nemt i stykker i ribbenene, så brystet går løs, og det gælder også for rådnende fuglelig i vandet, hvilket skeletrester på strandene ofte viser.



Figur 3. Fuglens kranium set fra siden. Lidt af overnæbbet mangler, men spidsen af det kraftige næb ses tydeligt til venstre, og den lille hjernekasse er slet ikke trykket flad. Målestokken er 10 mm lang. Foto: Ole B. Berthelsen.



Figur 4. Fuglens kranium set fra oven. Det er utroligt heldigt, at hjernekasen ikke er blevet slidt bort, med en så yderlig placering på stenens overflade. Målestokken er 10 mm lang. Foto: Ole B. Berthelsen.

Gammelt grundfjeld i Kina:



Et geologisk rejsebrev

af David Bridgwater

Fra midten af 60'erne og op gennem 70'erne gennemgik geologien i vesten en idemæssig udvikling, der kan sammenlignes med den revolution, der fandt sted indenfor biologi efter Darwins bog, *Arternes Oprindelse*. Formuleringen af pladetektonik-teorien gav geologi en helt ny og dynamisk indfaldsvinkel, der forenede så forskellige dele af geologien som fordelingen af fossiler på kontinenterne og dannelsen af granitter. Pladetektonikken og kontinentaldrift blev almen geologisk begreber. Den næsten ukontrollerede vækst af nye ideer blev samtidig ledsaget af en næsten lige så hurtig udvikling af analysemetoder, der betød, at geologien blev helt oversvømmet af geokemiske data. Specielt inden for analyse af forskellige radioaktive isotoper og isotop-par, såsom U-Pb, Rb-Sr og Sm-Nd, medførte den instrumentelle udvikling, at forståelsen



Figur 1. Den kinesiske mur, her bygget på gamle Arkæiske bjergarter. Bjergene i baggrunden består af yngre, ikke metamorfoserede sediment.

af en række geologiske processer som f.eks. dannelsen af bjergartssmelter forbedredes meget. Og især indenfor den ikke-fossilførende periode, Prækambrium, gav disse isotop-analyser mulighed for en bedre aldersopdeling af geologiske hændelser. Alt i alt blev geologi i vesten i denne periode mere og mere afhængig af laboratorie-undersøgelser, og i langt mindre grad præget af observationer af bjergarternes forekomstmåde i deres naturlige omgivelser, i felten.

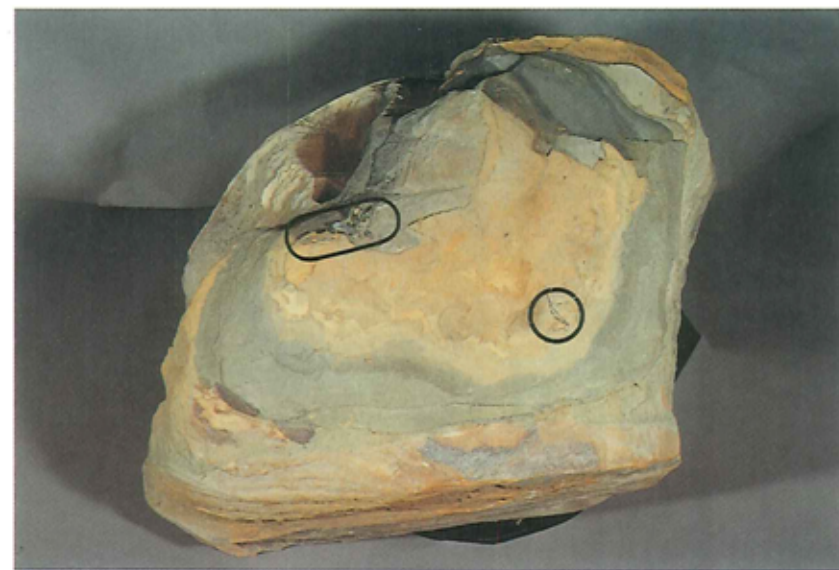
I Kina var den samme periode præget af en helt anden udvikling. I 1966 satte rødgardisterne næsten landet i stå, og Mao's doktrin om Kina som selvforsynende land kom også til at omfatte videnskab, og kontakten til vestlige og russiske videnskabsfolk blev så godt som indstillet. Kina var alt for engageret i sin egen kulturelle revolution til også at bekymre sig om eventuelle revolutioner indenfor geologi. Mao-epokens afslutning, der geologisk markeredes af jordskælvet i Tangshan i 1976, sandsynligvis den værste naturkatastrofe i et enkelt land i historisk tid, medførte en ændring i de politiske holdninger og en gradvis åbning af landet overfor fremmede eksperter.

De første geologer, der besøgte Kina efter kulturrevolutionen, omfattede især laboratorieorienterede geokemikere og isotopgeologer, der hjalp kineserne med at etablere deres egne laboratorier til analyse af bjergarter. I 1985 havde både de kinesiske geologer og deres laboratorier opnået en meget høj international standard. Og fra 1980 har geologiske fagtidsskrifter offentliggjort et stadigt stigende antal artikler om kinesisk geologiske forhold, skrevet af kinesiske geologer, der har kombineret vestlig teknologi og pladetektonikkens terminologi med feltbegreber og ideer udviklet i Kina i det foregående ti-år med relativ isolation. Ikke alle disse artikler er lige lette at læse, og man efterlades af og til med en usikkerhed med hensyn til, om denne vanskelighed måske skyldes forskelle i udvikling af kinesisk og vestlig geologisk tankegang i kulturrevolutionens ti-år. Det gælder måske især inden for beskrivelsen af bjergarter fra jordens tidligste periode, nemlig Arkæikum.

I vesten har opfattelsen af Arkæikum udviklet sig meget hurtigt de sidste ti år på grund af et massivt bombardement af nye analyseresultater og især isotop data. Danske geologer har spillet en central rolle i denne udvikling. Omhyggeligt feltarbejde i f.eks. Grønland har givet den feltmæssige geologiske baggrund, der var nødvendig for tolkningen af de ofte meget komplicerede geokemiske resultater. En rolle har opdagelsen af nogle af verdens ældste bjergarter i Grønland og Labrador spillet, da dette har medført, at nogle af verdens førende analyse-laboratorier har samarbejdet med Grønlands Geologiske Undersøgelse og danske universiteter på fælles forskningsprojekter. Det vigtigste danske bidrag til udforskningen af Arkæikum har nok været, at der er kommet en større forståelse af det samspil af komplicerede metamorfe og magmatiske processer, der sammen med deformationer i jordskorpen har givet disse gamle bjergarter deres nuværende udformning og kemiske karaktertræk.

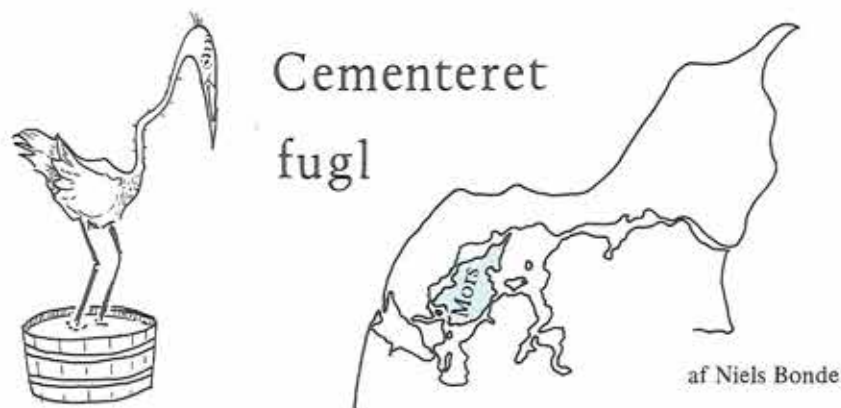
Et sjældent fund ?

Forfatteren har gennem de sidste 25 år samlet forsteninger fra moleret, mest fisk, der er almindeligt forekommende. Derfor var fundet af fuglekraniumet lidt af en sensation, og det er i det mindste det bedste fund, som forfatteren har gjort i molerområdet. Forstenede fugle er ikke almindelige, hverken på verdensplan eller i moleret, hvorfra der efterhånden er fundet omkring en snes fuglekraniumer og dertil ca. et dusin fjer. Men der er indtil nu kun registreret 5 fuglekraniumer, og som ved skæbnens ironi fik forfatteren forevist det 4. fuglekranium af Niels Sandal (mikrobiolog ved Aarhus Universitet) selv samme dag, som det 5. kranium blev fundet. Det fuglekranium, som Niels Sandal har fundet, er lille, omkring 2 cm langt, og det ligger i en lille cementsten, hvorfra det nok bliver svært at præparere det ud, men det vil naturligvis blive forsøgt.



Figur 2. Det nye fuglefossil fra moleret ligger i denne cementsten, der er omkring 45 cm lang på den længste led. Det grålige bånd er et af askelagene, så cementstenen ses ind på en lagflade. Fuglens kranium er afmærket med en oval figur mens foden er omgivet af en cirkel. Foto: Ole B. Berthelsen.

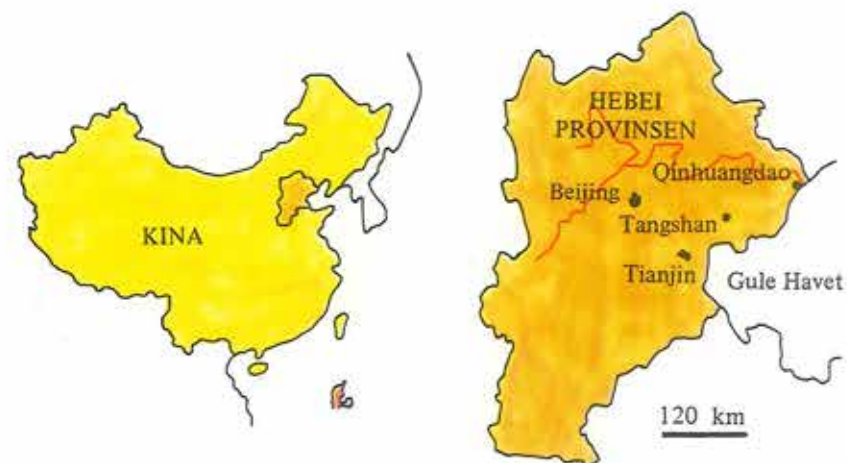
For det 5. funds vedkommende har naturen allerede hjulpet med, - ja faktisk lidt for meget, for en del af underkæbens og hjernebassens venstre side er allerede forsvundet, og kraniet sidder så yderligt i cementstenen, at pandebenene over fuglens øjne og lidt af overnæbbet også er slidt væk. Til gengæld er benvæggen mellem øjnene frilagt så fint, som om en præparator havde været i gang, og resten af hjernebassen er intakt og er overhovedet ikke trykket sammen.



De geologiske feltkurser for geografistuderende på Mors er tilsyneladende de ideelle tidspunkter for sensationelle fund af forstenede fugle. I august 1986 hjembragte forfatteren og de to studerende: Anders K. Jørgensen og Jesper Kristiansen et næsten helt fuglekranium, der lå i en cementsten fra moleret på Nordmors. Cementstensboller optræder stedvis som sammenhængende eller spredte kalksammenkittede konkretioner i moleret, der består af kiselalger (diatomeer) og lidt ler.



Figur 1. Et udsnit af moler-lagfølgen på Nordmors. Det lyse moler er gennemsat af askelag, hvoraf ca. 180 har fået numre. Stedvis i lagfølgen optræder der cementering med kalk, enten i sammenhængende lag eller i 'boller'.



Figur 1. Oversigtskort. Til venstre ses Kina (gult), Hebei provinsen med orange og - som målestok Danmark (rødt). Til højre ses Hebei provinsen, med rødt er vist den østlige del af den kinesiske mur.

I Kina findes sådanne ældgamle, Arkæiske bjergarter bl.a. i den østlige Hebei provins, der ligger mellem Beijing og Stillehavet. Området her har været udsat for den højeste grad af metamorfose, granulit- og amfibolit-facies, svarende til omdannelse af de oprindelige bjergarter i området under tryk svarende til 20-30 km's dybde og temperaturer mellem 700 og 800°C. Ifølge kinesiske geologer kan de oprindelige bjergarter i Hebei provinsen opdeles i sedimentære og vulkanske bjergarter, ligesom de dybest beliggende bjergarter bliver anset for at være de ældste, medens de højere liggende bjergarter er yngre. Denne enkle opdeling af bjergarter fra den nedre del af jordens skorpe som værende ældst svarer ikke til den opfattelse og erfaring danske geologer har fået fra Grønland og Labrador, hvor blandt andet observationer i felten peger på, at bjergarter af meget forskellig alder kan blandes sammen i et område gennem overskydninger på tidspunktet for den højeste omdannelse (metamorfose) i området.

I den østlige del af Hebei provinsen støttes den enkle model for områdets opbygning da heller ikke af isotop-analyser og af aldersbestemmelser på bjergarterne. De bjergarter, der i felten ser ud til at være ældst giver således ældre omkring 2500 millioner år, medens nogle af de tilsyneladende yngre bjergarter har aldre på op til 3500 millioner år. Det vil sige, at enten har de kinesiske geologer været lidt for optimistiske i deres tolkninger af felt-observationerne, eller også må isotop-resultaterne tolkes på en anden måde end de hidtil er gjort. For kineserne er der ikke tale om en ren akademisk diskussion, idet hovedindustrien i området er minedrift. Således findes der guldminer i området, der er kortlagt som det yngste, medens jernminer findes i de områder, der traditionelt

er blevet betragtet som de ældste. Et godt kendskab til bjergarternes egentlige alder vil således kunne spare Kina for store omkostninger i forbindelse med fortsat efterforskning efter forekomster. Så kunne en geologisk model som den fra Grønland og Labrador opstilles for Hebei provinsens Arkæiske bjergarter, med en tektonisk blanding af bjergartsskiver af vidt forskellig alder, ville en stor del af uoverensstemmelserne mellem feltgeologer og laboratoriegeologer kunne bringes ud af verden.



Figur 3. Yngre mesozoiske graniter forvitrer nogenlunde let og fremstår som et spændende og malerisk landskab.

Det var på denne baggrund jeg blev inviteret til at deltage i feltarbejde i Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei provinsen sammen med Dr. Sun Dazhong og Yang Chungliang fra The Chinese Academy of Geological Sciences i Tianjin, og til at give et par forelæsninger i Tianjin. Det Kineske Akademi betalte alle udgifter i Kina, medens Carlsberg Fondet betalte rejsen til Riget i Midten. Feltarbejdet blev en meget stor succes, ligesom de kinesiske geologer syntes at være tilfredse med forelæsningerne, der viste sig at komme til at vare ialt 42 timer fordelt på 8 dage. Til min store overraskelse overlevede både tilhørerne og jeg selv denne maraton-forestilling af en forelæsningsrække.

Dette vil hellere kunne gøres med aldersbestemmelser ved hjælp af isotop-analyser, med mindre de bliver meget omhyggeligt sammenholdt med geologien i felten.

Så til trods for krige, kultur-revolutioner, og indre opstande har den Arkæiske geologi i Kina en solid videnskabelig basis, først og fremmest på grund af detaljerede felt-observationer og mange års erfaring. På nogle punkter virker det, som den geologiske forståelse i Kina er langt mere udviklet end i dele af vesten, hvor vi næsten er ved at glemme, at geologi først og fremmest har noget med naturen at gøre, og i langt mindre grad skabes i laboratoriet alene.



Figur 11. Hebei provinsen er dog ikke udelukkende Arkæisk geologi, selv om dette aspekt tiltaler en geolog meget. Provinsen er også præget af intensiv dyrkning af en lang række forskellige afgrøder. Den nyligt foretagne liberalisering af handelslovene og den nære beliggenhed af millionbyerne Beijing og Tianjin har betydet, at befolkningen i den østlige del af Hebei er ret velstående, idet en stor del af produktionen kan sælges på det frie og private marked. For at vende lidt tilbage til det geologiske har en hel del bønder i området yderligere suppleret deres indkomst ved privat guldudvinding ved både at vaske guld i flodgrus, og ved at udvinde guld fra kvartssårer i bjergarterne.

Når man beskæftiger sig med bjergarter med voksende aldre, vil mængden af nydannet ^{87}Sr og ^{143}Nd stige. Spredningen omkring en isokron udtrykkes ved den vinkelrette afstand fra datapunkterne til isokronen. Ved simpelt hen bare at blive ældre og ældre vil bjergarter, som er af forskellig alder og oprindelse, efterhånden komme til at ligge på en isokron. Arkæiske bjergarters isokroner skal almindeligvis være bedre end isokroner fra yngre bjergarter, før vi kan acceptere resultatet som tegn på, at en serie bjergartsprøver er dels lige gamle, og dels har samme oprindelse. I artikler om aldersbestemmelse af Arkæiske bjergarter er det sjældent at finde sådanne perfekte isokroner.

Vi kan nu se lidt mere kritisk på isotopbeviserne for alderen og oprindelsen af bjergarterne i Arkæikum i det østlige Hebei provins. Først kan vi konstatere, at isokronerne langt fra er perfekte. Havde vi kunnet analysere bjergarterne for 2500 millioner år siden, ville vi sandsynligvis have kunnet se en meget stor spredning i diagrammet, hvad der i dag skjules på grund af den lange tid, der er gået. Ser vi på feltforholdene og de lokaliteter, hvor de analyserede prøver er indsamlet er spredningen ikke overraskende. Laboratoriegeologerne har nemlig, da de har ønsket bjergartsprøver med en stor spredning i den kemiske sammensætning, samlet prøver af klart forskellig oprindelse og også med forskellige aldre. Geologisk set strækker materialet sig fra indeslutninger af gamle basalter, granitter, lokale smelter dannet da de gamle basalter blev udsat for høje temperaturer under metamorfosen, pegmatiter dannet efter metamorfosen. De forskellige isotop-resultater for alle disse prøver falder tæt på en 2500 millioner år isokron, og det er rimeligt at antage, at dette rent faktisk afspejler tidspunktet for en vigtig geologisk begivenhed i området, som for eksempel kunne være metamorfose under høje tryk og temperaturer.

Vi kan nu spørge, om Arkæikum i Kina er forskelligt fra Arkæikum i Grønland. Kan man anvende kriteriet: De nederste bjergarter er de ældste og de øverste de yngste i et område der har været udsat for en høj grad af metamorfose? Svaret skal nok være et kvalificeret ja! Enhver der arbejder i Arkæikum i det nordatlantiske område vil øjeblikkelig se mange ligheder. Begge områder er domineret af granitisk intrusivt materiale, og begge indeholder rester af overfladebjergarter af forskellig alder og type, som er påvirket af mere end en periode med en høj grad af metamorfose. Det er dog ikke muligt at overføre den nordatlantiske model direkte til det østlige Hebei. Selvom de gamle bjergarter i det østlige Hebei er brudt op og deformeret lige så meget som tilsvarende bjergarter i Grønland, er det muligt, at de viser en mere sammenhængende stratigrafi, end vi umiddelbart bemærker. Den geologiske model, der er opstillet af kineserne, med to hovedgrupper af sedimentære og vulkanske bjergarter, er ikke bevist endnu, men virker sandsynlig på grund af deres nære kendskab til bjergarterne.

En besøgende kan bidrage med forslag til at bevise eller modbevise modellen, men ændre den fundamentalt på den korte tid et besøg varer, er ikke muligt.

GEOLOGI I HEBEI PROVINSEN

Hebei provinsen i det østlige Kina er overvejende et landbrugsområde med en befolkning på 53 millioner, der især er koncentreret omkring de store byer Beijing og Tianjin, der er havnebyen til hovedstaden Beijing.

De Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei provinsen danner et 100 x 200 km stort rombeformet område, der strækker sig ca. 50 km øst for Beijing og ud til kysten ved Quihuangdao, stedet hvor også den kinesiske mur møder Stillehavet. I den sydlige del ses de Arkæiske bjergarter som isolerede bakker og lave bjerge på den nordkinesiske slette, medens de mod nord danner en mere sammenhængende ryg med bjergtoppe på op til 1800 m. De Arkæiske bjergarter er delvis dækket af yngre Prækambriske sedimenter og lavaer og intruderet af Mesozoiske granitter. Der er stadig aktive bevægelser i området i form af forkastningsdannelse, og centret for Tanshan jordskælv i 1976 lå på en større struktur i den østlige del af Hebei provinsen.



Figur 4. Blik ud over den intensivt opdyrkede Hebei provins, hvor der er terrassedyrkning på næsten alle skråninger og på den nordkinesiske slette. De Arkæiske bjergarter står frem som isolerede småbakker og bjerge i baggrunden.

Det geologiske kort over de Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei viser to hovedinddelinger: *Qianxi gruppen* som ifølge de almindelig accepterede modeller er tidligt Arkæikum, og *Badaohe gruppen*, som beskrives som sent

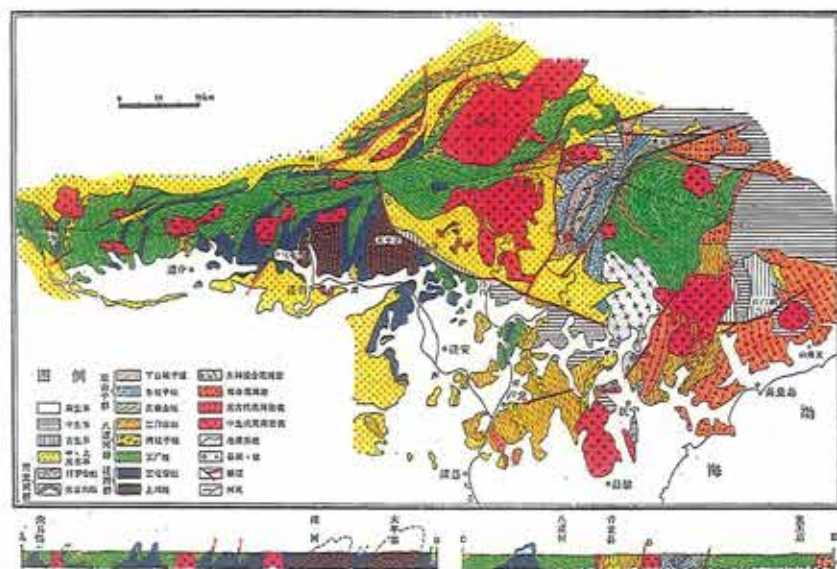
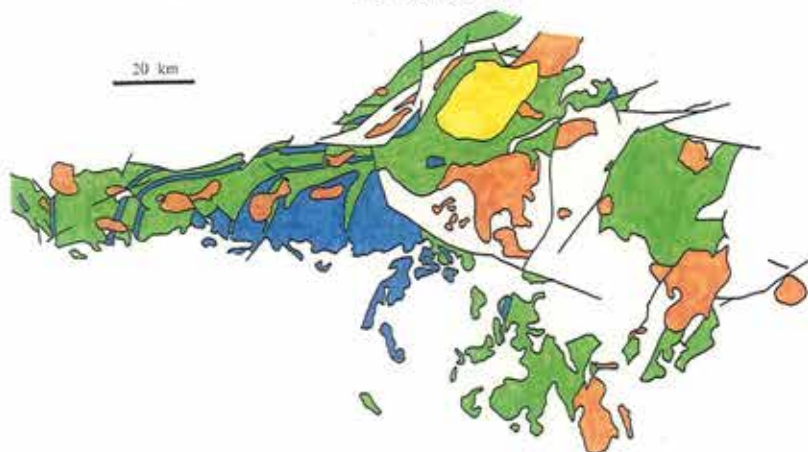


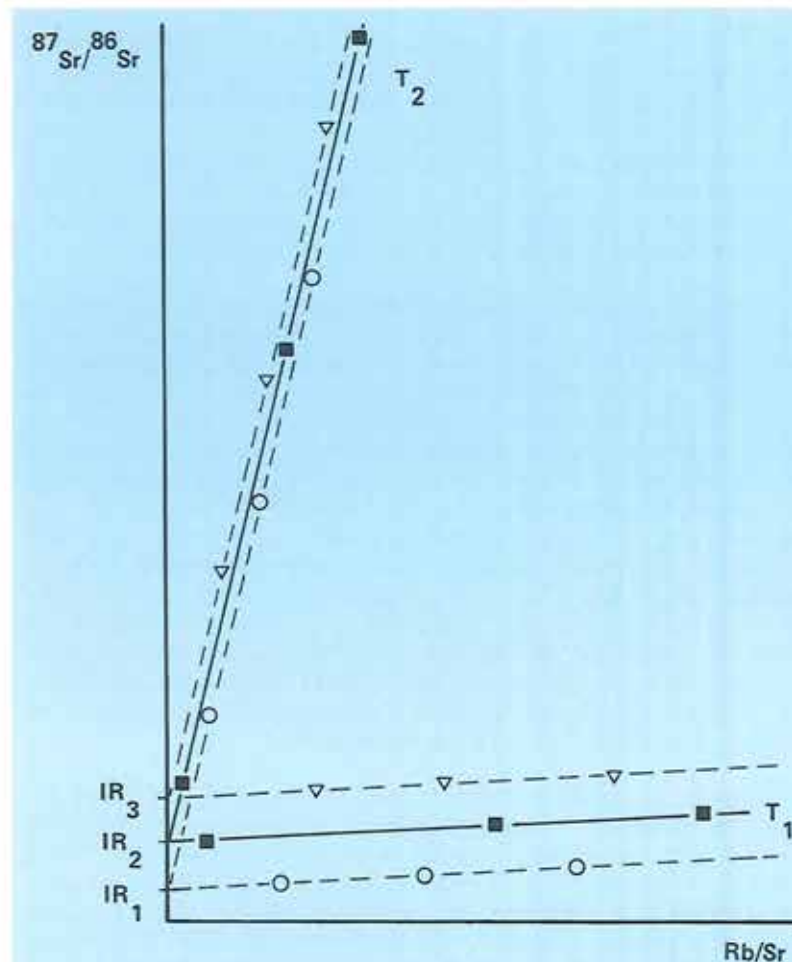
图1 冀东早侏罗世地质图



Figur 5. Geologisk kort over bjergarterne i den østlige del af Hebei-provinsen, fra ca. 80 kilometer øst for Beijing og ud til Gule Havet. Øverst ses en kopi af det originale kinesiske kort, og herunder er gengivet fordelingen af de bjergarter, der omtales i teksten.

Den formodede ældste gruppe, Qianxi gruppen (blåt), den formodede yngre Badaohe gruppe (grønt), og de yngre granitiske intrusioner (orange og gult).

Den nuværende fordeling af disse bjergarter skyldes til dels senere forkastninger, der er vist med sorte streger.



Alderseffekten på isokroners kvalitet i forbindelse med stigende alder. Nederst i diagrammet ses prøver fra 3 forskellige geologiske enheder med samme alder, T_1 (f.eks. 50 mio år), men med forskelligt oprindeligt isotopforhold (IR_1 , IR_2 , IR_3). Indsamles prøver ukritisk fra de tre enheder fås en stor spredning om en fælles T_1 isokron. Analyseres de samme prøver til tiden T_2 (f.eks. 2500 mio år senere) vil spredningen om T_2 isokronen være tilsyneladende meget mindre end spredningen om T_1 isokronen, og man kan tro at man har med en egentlig isokron at gøre.

Et sidste punkt må omtales ved en vurdering af, om isotopmålinger er nok til at tilbagevise den model, som feltgeologerne har opstillet for Hebei provinsen. Det er det resultat man får ved at kigge på isotopsystemer, som startede deres udvikling for mere end 2500 millioner år siden. Tager vi f.eks. en blandet gruppe af prøver af gabbroer og granitter fra et magmatisk kompleks fra Tertiær tiden, som vi f.eks. kan finde det i Østgrønland, vil isotopundersøgelser af bjergarterne fortælle os, om bjergarterne blev dannet på samme tidspunkt, og om de kom fra samme udgangsmateriale. Falder analyse-resultaterne tæt på en isokron i enten et Rb-Sr eller Sm-Nd diagram, er der således gode muligheder for, at vi har at gøre med en gruppe bjergarter, der både kommer fra samme udgangsmateriale og har samme alder. Bekræftes dette ved at anvende mere end en metode, er man selvfølgelig på langt mere sikker grund. Spredt analyserne sig på på hver side af vor isokron, er der derimod langt mindre sandsynlighed for, at vi har med en enkelt gruppe bjergarter at gøre. Hvor stor spredningen omkring linien egentlig er, kan prøves ved hjælp af statistiske metoder.



Figur 10. Meget af Kinas geologiske industri er helt på højde med den, vi kender fra vesten. Store maskiner flytter de brudte bjergarter, kilometerlange transportbånd og moderne oparbejdningsanlæg. I den situation forekommer det lidt mærkeligt at se, at hullerne til sprængladninger, der senere skal flytte tonsvis af sten, hamres ud ved håndkraft i stedet for at anvende boreudstyr. Hvor et trykluftbor kunne lave huller i løbet af en times tid, anvender flittige kinesere mange timer med mejsel og hammer.

Arkæisk af alder. Qianxi gruppen består af store enheder af kvartsbåndet jernmalm, pyroxen-biotit gnejser med en sandsynlig fortid som sure vulkanitter, og amfibolitter dannet ved metamorfose af basiske vulkanitter. Disse bjergarter er koncentreret i den sydlige del af området og indeholder almindeligvis mineraler typiske for granulit-facies bjergarter. Badaohe gruppens bjergarter svøber sig rundt om Qianxi gruppen i en halvmåne-formet bue og er domineret af amfibolitter, som menes dannet ved metamorfose af basiske vulkanske bjergarter. Disse bjergarter er dog ikke blevet påvirket af så høje tryk og temperaturer som Qianxi gruppens amfibolitter, hvilket kunne skyldes, at de er aflejret på et ældre underlag af bjergarter, der allerede på et tidligere tidspunkt var blevet påvirket af en højere grad af metamorfose. Øverst i Badaohe gruppen er der også kvartsbåndede jernmalme og sediment, hvori der indgår sure vulkanske bjergarter, som i Qianxi gruppen, men disse er metamorfoseret under mindre metamorfosegrader i amfibolit-facies.

Geologiske beskrivelser tyder på, at Qianxi gruppen er blevet kraftigere smeltet op i forbindelse med intrusion af senere granitter end Badaohe gruppen.



Figur 6. Unge Arkæiske bandede jernsten, der muligvis er skudt op over ældre gnejser, der har gennemgået en høj grad af metamorfose.

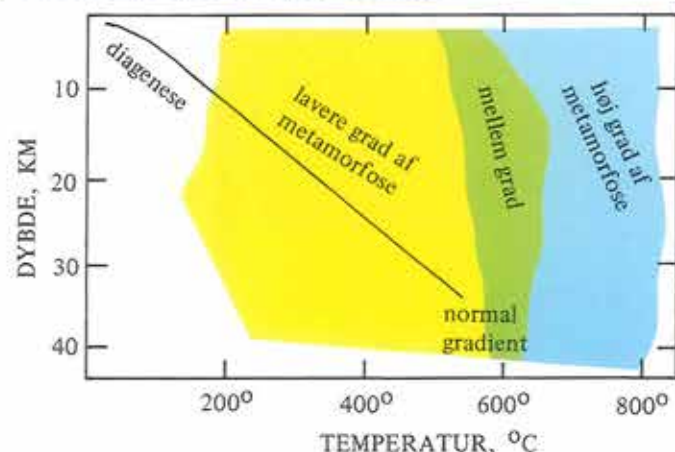
De første aldersbestemmelser på bjergarter fra Hebei området blev foretaget af kinesiske laboratorier ved hjælp af Rb-Sr metoden og gav aldre på omkring 3500 millioner år, for Qianxi gruppen, men uheldigvis var denne alder behæftet med en ret stor usikkerhed. Efterfølgende arbejde af laboratorier i Austra-

lien og Frankrig på samme slags bjergarter, men med en større variation i deres sammensætning, støttede ikke denne høje alder. Bestemmelserne ved hjælp af Sm-Nd metoden gav en alder på 2500 millioner år på materiale, der ud fra feltobservationer blev anset for at være noget af det bedst bevarede af de gamle bjergarter, medens granitter, der i felten syntest at være langt yngre, gav en alder på 2700 millioner år. Og for at gøre det hele endnu værre fik det franske laboratorium en alder på 3500 millioner år på amfibolit-facies bjergarter fra et område, der ifølge feltgeologerne skulle være meget yngre. Så feltgeologer og laboratoriegeologer var totalt uenige.

LIDT OM METAMORFOSE

Når bjergarter, for eksempel sedimenter i forbindelse med en bjergkædefoldning begravnes dybt i jordens skorpe, sker der en kraftig omdannelse af de oprindelige bjergarter som følge af de ændrede tryk og temperaturer, de udsættes for. Eksisterende mineraler omdannes, og der opstår omkrystalliserede eller metamorfoserede bjergarter med et indhold af nydannede mineraler, der ikke var til stede i de oprindelige bjergarter.

Afhængigt af hvilke nye mineraler, der er blevet dannet under metamorfofen, kan man skelne mellem forskellige grader af metamorfose (se figuren). Ved de helt lave temperaturer, måske under de 200 grader, sker der ikke nogen egentlig metamorfose. De ændringer, der finder sted henregnes til diagenesen, og omfatter en sammentrykning af lagene. Ved temperaturer højere end 200 grader begynder den egentlige metamorfose, og ved en høj grad af metamorfose sker der ofte en delvis opsmeltning af de faste bjergarter, så der er en glidende overgang mellem metamorfe processer og magmatiske processer. Denne høje grad af metamorfose findes kun dybt i jordens skorpe.



Dateringsmetodikken svarer i øvrigt nøje til den, der er beskrevet for Rb-Sr systemet. Der er dog to gode grunde til at aldersbestemme bjergarter ved såvel Rb-Sr som Sm-Nd metoden. Først og fremmest er både Sm og Nd sjældne jordarter og ligner hinanden meget. Dette betyder, at begge elementer opfører sig på samme måde under de forskellige geologiske processer, som kunne tænkes at have påvirket en serie bjergarter efter deres dannelse. Det er derfor meget vanskeligt at ændre dette isotop-forhold og dermed aldersindikationen i en bjergartsserie, der senere udsættes for eksempelvis stærk metamorfose. For det andet var det - i modsætning til Rb-Sr systemet - moderet elementet Sm, der blev koncentreret i kappen, da skorpe og kappe tidligt i jordens dannelseshistorie blev adskilt. Dette betyder, at der udvikles mindre af datterproduktet ^{143}Nd i skorpen end i kappen. Bjergarter, der dannes ved opsmeltning af gammel skorpe, vil have et lavere oprindeligt $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ forhold end bjergarter dannet ved opsmeltning af kappen. En kombination af et oprindeligt lavt $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ forhold og et oprindeligt højt $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ forhold er derfor et stærkt tegn på, at en bjergartsserie dannedes fra skorpen.



Figur 9. Amfibolit facies gnejser fra den nordlige del af Hebei provinsen. Europæiske geologer kortlagde bjergarten som en granitisk gnejs med indeslutninger af mørkt materiale. Kineserne lægger mere vægt på indeslutningerne og ville beskrive enheden som en vulkansk bjergart, der var blevet brudt i stykker af sene Arkæiske granitdrer.

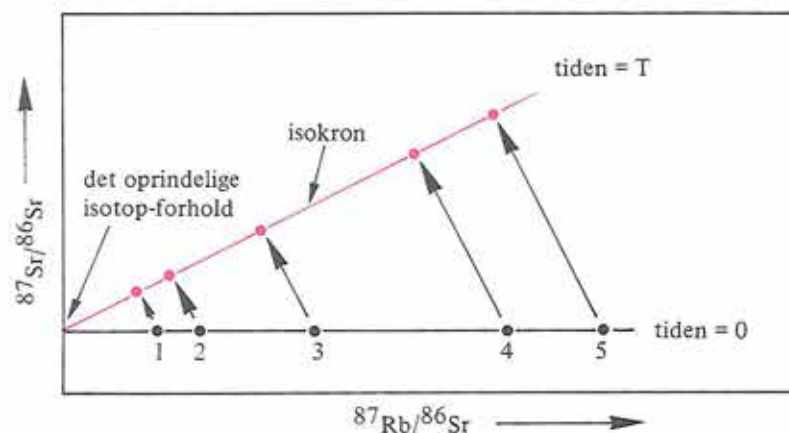
ISOKRONER OG ALDERSDATERING

Prøver af bjergarter eller mineraler, der er dannet ved størkning af en bjergartssmelte, har på dannelses-tidspunktet (størkningstidspunktet) det samme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold. Hvis der på dette tidspunkt er forskelle i de enkelte prøvers indhold af ^{87}Rb , vil denne forskel medføre, at prøverne efter en vis tid får forskellige $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold, fordi en del af det oprindelige indhold af ^{87}Rb vil være omdannet til ^{87}Sr .

Jo mere ^{87}Rb en prøve indeholder fra begyndelsen, jo mere ^{87}Sr vil der blive dannet. Dette er vist i figuren for 5 prøver, der fra størkningstidspunktet havde et forskelligt indhold af ^{87}Rb . Medens alle 5 prøver på dannelses-tidspunktet vil ligge på en vandret linie i det viste diagram, fordi deres $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold er ens, så vil omdannelsen af af ^{87}Rb til ^{87}Sr medføre, at prøverne efter en vis tid ($=T$) ligger langs en ny linie. Denne linie kaldes isokronen, og er i figuren vist med rødt.

Isokronen kan bruges til at bestemme det oprindelige isotopforhold ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), der igen fortæller noget om prøvernes oprindelse, for eksempel om en bjergartssmelte er dannet i jordens kappe eller skorpe. Hældningen af isokronen er endvidere et udtryk for prøvernes aldre, det vil sige den tid, der er gået, siden bjergarterne blev dannet. Jo stejlere isokronen er, jo ældre er prøverne.

Det ses endeligt i figuren, at jo større variation i $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet i en række prøver er, jo bedre kan isokronen bestemmes, og jo sikrere bliver både prøvernes aldre og deres oprindelige isotopforhold.



Et andet moder-datter isotop-par der i stigende grad bliver brugt til isotop-aldersbestemmelser er de sjældne jordarts grundstoffer Samarium og Neodym. I dette tilfælde henfalder moderisotopen ^{147}Sm til datterproduktet ^{143}Nd .

Mit første indtryk af de feltgeologiske forhold talte ikke til gunst for den feltgeologiske tolkning. Der var simpelt hen ikke så mange blotninger, som vi anser for at være nødvendige for at vurdere den geologiske historie i f.eks. Grønlands Arkæiske områder. Hvad der var endnu værre var, at granulit-facies metamorfosen, der var blevet brugt som kendetegn for geologiske begivenheder forud for aflejringen af Badaohe gruppens bjergarter, viste sig i det store og hele at skyldes varmepåvirkning fra en række forholdsvis unge granitiske intrusioner. I den sydlige del af området størkner disse granitter i dybet fra tørre bjergartssmelter, og ligesom de bjergarter fra Qianxi gruppen de er intruderet i, indeholder de mineralet hypersten, som viser at omdannelsen (metamorfosen) har fundet sted under granulit-facies betingelser. Følger man disse granitter nordpå ind i Badaohe gruppens amfibolitter bliver de gradvis fattigere på hypersten og rigere på mineralet hornblende, hvilket viser at de her er størknet fra en mere vandholdig bjergartssmelte og på lavere dybde. Så det der skulle have været et sikkert kriterium til bestemmelse af Qianxi og Badaohe gruppernes relative alder blev hovedsageligt til et kriterium for intrusionsdybden af granitiske bjergarter fra en magmatisk periode, der var meget yngre end de to grupper bjergarter.



Figur 7. Amfibolit facies gnejser fra landsbyen Huangbaiyu. Det mørke materiale lige under hammeren giver en Sm-Nd isokron alder på 3500 millioner år, de lyse årer en alder på ca. 2500 millioner år. Det er blotninger med sådanne blandede bjergarter, som gør tolkningen af isotopresultaterne meget vanskelig, hvis prøverne er blevet tilfældigt indsamlede.



Figur 8. Granulit facies gnejser tæt ved landsbyen Goujiagou.

Det var heller ikke på anden måde muligt at kende forskel på bjergarterne fra de to grupper. For eksempel var der ingen aflejringskontakter mellem bjergarter kortlagt som tilhørende den ældre Qianxi gruppe og den overliggende Badaohe gruppe. Der var heller ikke mulighed for at se, om den bjergartsserie nu lå, som den oprindelig var blevet aflejret, eller om de var blevet vendt på hovedet eller måske skudt sammen i skiver, som man kan se det i Alperne i dag, og som vi antager, at de Arkæiske områder i Grønland er opbygget. Så den geologiske model så usikker ud!

Men de kinesiske geologers viden om bjergarterne i felten var imponerende. De havde arbejdet med dem i mange år og var i stand til at vise mange fine detaljer, der gjorde det muligt for dem at korrelere bjergartsenheder over store afstande inden for området og få et overbevisende geologisk kort tegnet. Det blev da også klart under feltarbejdet, at skønt det ikke var muligt at bevise, at Qianxi gruppen var ældst, så virkede det i hvert fald som om den havde været igennem en mere kompleks geologisk historie end Badaohe gruppens bjergarter. Men hvis feltmodellen i det mindste var nogenlunde rigtig, så måtte man finde en forklaring på, hvorfor aldersbestemmelserne gav et modsat billede. Men for at forstå, hvorfor tilsyneladende gode aldersbestemmelser, udført af de bedste laboratorier i verden, muligvis kunne være geologisk set vildledende, er det nødvendigt at se på, hvordan sådanne aldersbestemmelser udføres og hvilke forudsætninger tolkningerne er baseret på.

Aldersbestemmelser af bjergarter er baseret på det simple princip at et radioaktivt grundstof (moderelementet) henfalder til et andet (datterelementet) med en kendt hastighed. Måler man mængden af moderelementet, der findes lige nu og mængden af nydannet datterelement, så har man en enkel og pålidelig metode til måling af bjergarters alder. Desværre er det kun sjældent muligt at måle disse forhold direkte, idet de fleste bjergarter indeholder moderelementet og datterelementet sammen med en ukendt mængde af samme grundstof som datterelementet, fra før det geologiske ur blev sat igang.

Ser vi på et af de mest anvendte moder-datter-isotopsystemer, Rb med massen 87 (^{87}Rb), som henfalder til Sr med massen 87 (^{87}Sr), så kan vi måle mængden af ^{87}Rb i en prøve, den totale mængde Sr i prøven, og mængden af isotopen med massen 87 i Sr. Men hvis vi ikke ved hvor meget af denne Sr med massen 87 der var tilstede, da den bjergart vi aldersbestemmer blev dannet (f.eks. en granit), er vi ikke i stand til at beregne alderen.

Vi kan løse dette problem ved den såkaldte isokron metode. Tager man en række bjergartsprøver dannet på samme tid fra den samme kilde og måler forholdet mellem Sr med massen 87 og massen 86 samtidig med at vi måler forholdet mellem Rb og Sr, vil vi opdage, at jo højere forholdet mellem Rb og Sr er, jo højere vil forholdet mellem Sr med massen 87 og 86 være (Sr med massen 87 dannes hele tiden ved henfald af Rb med massen 87).

Plotter man resultaterne i et diagram vil prøvepunkterne ligge på en ret linie. Jo stejlere linien er, jo højere vil alderen være, idet der vil dannes mere Sr med massen 87 jo højere alderen er. Linien der forbinder punkterne i diagrammet kaldes en isokron. Linien giver os dels alderen, udtrykt ved liniens hældning, dels oplysningen om forholdet mellem Sr med massen 87 og massen 86 på det tidspunkt bjergarten blev dannet. Isokronens skæring med den lodrette akse kaldes det oprindelige isotopforhold. Dette forhold er meget vigtigt, for bjergarter, der har været lang tid i jordskorpen har et højere forhold mellem Sr med masserne 87 og 86, end bjergarter der kommer fra kappen. De har næsten ikke noget Rb i sig, og derfor nydanner de ikke Sr med massen 87.

Udtrykt geokemisk så vil en bjergart dannet udfra skorpemateriale med en lang historie bag sig have et højere oprindeligt forhold mellem Sr med masserne 87 og 86 end bjergarter afledt fra en Rb fattig kilde som f.eks. jordens kappe eller et basaltisk materiale i skorpen med en kappe-lignende geokemi. Derfor er det muligt at afgøre, om en bjergart er dannet ved opsmeltning af eksisterende kontinental jordskorpe-materiale eller kappemateriale ved at måle dens oprindelige forhold mellem Sr med masserne 87 og 86. Et af de centrale spørgsmål i prækambrisk geologi: om den Arkæiske kontinentale jordskorpens bjergarter dannedes tidligt i jordens historie og derefter blev opsmeltet i forbindelse med senere begivenheder, eller om de blev dannet gennem en mere kontinuerlig proces fra jordens kappe, skulle kunne afgøres ved bestemmelse af de oprindelige Sr isotopforhold.