

ANMELDELSE

FOSSILER FRA FAXE KALKBRUD

Tove Damholt og Alice Rasmussen, 44 sider, Østsjællands Museum, Pris 65 kroner.

Fossiler fra Faxe Kalkbrud er et billedatlas over stort set alle fossiler det er muligt at finde i Faxe Kalkbrud. Bogen er blevet til i samarbejde mellem Tove Damholt, der er leder af Østsjællands Museum og amatørgeologen Alice Rasmussen, der er en af områdets ivrigste fossilsamlere. Bogen er organiseret efter dyregrupper, med billeder og latinske navne på dyrene og sjældne fossiler er markeret med en til tre stjerner alt efter, hvor ualmindelige de er.

Billederne til hver dyregruppe viser dyrene i alle de forskellige bevaringsformer, dyrene kan findes i - både som komplette fossiler og de mest almindelige fragmenter - man finder dyrene i. Således ser man i afsnittet om krabber, både eksempler på skjolde, kløer og løse lemmer. Dette gør bogen meget anvendelig til hurtigt at identificere, hvad det er man har fundet, også selvom det man har fundet ikke er et perfekt komplet fossil, som det jo desværre alt for tit er tilfældet.

Alle de afbillede fossiler i bogen er fotograferet af Leif Rasmussen, og når man ved, hvor svært det er at tage gode kontrastfyldte billeder af hvide fossiler i hvid kalk, så må det siges, at han er sluppet godt fra det. Dog er der et par enkelte smuttere imellem, hvor kameraet har fokuseret ved siden af fossilet, der derved fremstår uskarpt. Udover en sides introduktion til bogen er der ingen tekst til billederne udover navnet på de enkelte dyr. Dette er nok bogens største svaghed, idet bare en enkelt eller to siders introduktion og generelle oplysninger om hver dyregruppe ville have gjort bogen meget mere tilgængelig for menigmand. Bevaringsforholdene i Faxe gør, at dyr der oprindeligt havde skaller af aragonit, eksempelvis snegle, kun bevares som enten hulrum eller stenkerne, da aragonitten er blevet opløst i det kalkholdige miljø. Sidste kapitel viser eksempler på, hvordan gummiafstøbninger af hulrummene efter de opløste skaller kan give meget detaljerede kopier af de manglende skaller. Til dette spændende emne gives kun fem liniers introduktion, hvilket er helt utilstrækkeligt. Her burde klart have været en nem trin for trin beskrivelse af afstøbningsprocessen så folk der køber bogen, selv umiddelbart kan gå hjem og prøve det selv.

Med det store arbejde der er lagt i at fotograferer sig igennem hele faunaen, ville det være oplagt at lave en version af bogen med en populær tekst. På denne måde ville bogen kunne nå ud til en langt større målgruppe end den gør i sin nuværende form. Alt i alt er det en nyttig lille bog til en absolut fornuftig pris, der bør være fast inventar på hylderne i enhver amatørgeologisk forening og hos enhver fossiljæger, der går på jagt i Faxe Kalkbrud.

Jesper Milån

VARV

NR. 2

BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER

2006



SKÆRENDE RELATIONER
OG BORNHOLMSKE GRANITTER
DINOSAUR FODSPOR

ISSN 0105 - 6301

01- 09 - 2006

Forsidebillede: Entrada Sandsten fra Utah, USA. Sandstenen blev aflejret i Juratid og i et gigantisk ørkenområde med vandrende sandklitter. Se artiklen på side 20.

Forfatteres adresser: Jesper Milán, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 København K.
Tommy Jørgart, Kastelsvej 15, 4000 Roskilde.



Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K.
Telefon: 35 32 24 25, Svend Pedersen
E-mail: svendp@geol.ku.dk

Redaktion: Asger Berthelsen, Bjørn Hageskov, Jesper Milan, Mia Nielsen, Arne Thorshøj Nielsen, Mikael Pedersen (webmaster) og Svend Pedersen (ansvarshavende).

Bestyrelse: Asger Berthelsen, Valdemar Poulsen, Bjørn Hageskov og Svend Pedersen.

Tekstredaktør: Svend Pedersen
Lay-out: Askvig grafisk design
Repro og tryk: PrininfoHolbæk-Hedehusene

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 150 DKR i abonnement for 2006. Abonnement kan tegnes ved at indsende beløbet til VARV's potgiro: 9 06 88 80, eller 190 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 180 NOK til VARV's norske postgiro: 7877-08.15672.

På VARV's hjemmeside www.varv.dk er det bl.a. muligt at søge i VARV's database, hvor referencer til alle artikler er lagt ind, ligesom der er et lille resumé af artiklerne. Der er også oplysninger om priser på gamle numre, særnumre etc., som sammen med tegning af abonnement kan bestilles on-line.

Adresseændringer bedes meddelt 

©  eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale

kort, bygge og anlæg, prospektering og malmgeologi, energiråstoffer, grus og sand, grundvand, jordbrug, samt miljøproblemer. Her gør Lundqvist kort og klart rede for, hvad geologisk viden kan bruges til.

Bogen er i handy format og udstyret med mange hovedsagelig sort-hvide fotografier, de fleste taget af Lundqvist selv, og næsten alle af god kvalitet og instruktive. Der er et antal instruktive diagrammer og skemaer, en litteraturliste og et fyldigt stikordsregister.

Sammenfattende kan om bogen siges, at det er lykkedes for Jan Lundqvist at præsentere geologien som videnskab og som profession for læsere uden faglige forudsætninger ved at skrive kort og klart, ved udvælgelsen af illustrationsmaterialet, og ved kun se på detaljer, hvor der er grund til det. Et spørgsmål er, om den forudsætningsløse læser vil finde bogens ret anonyme layout for kedeligt til at gå i gang med læsningen. Det at bogen er kommet i fire udgaver er dog et udtryk for, at den bliver brugt. Vi kunne godt i Danmark bruge en tilsvarende bog, eventuelt ved at tillemppe bogen til danske forhold. Eksistensen af en sådan bog på dansk vil kunne styrke det almene kendskab til geofagene og måske tiltrække flere studenter til studierne.

Henning Sørensen

ANMELDELSE GEOLOGI – PROCESSER – UTVIKLING – TILLÄMPNING

Jan Lundqvist: *Geologi – processer – udvikling – tillämpning*, 4:e Uppl.,
Forlaget Studentlitteratur 2006.

Denne lille bog på 273 små sider udkom første gang i 1988 og foreligger nu i fjerde udgave. Jan Lundqvist skriver i forordet til 4. udgave: "Genom debatten kring miljöfrågor och hushållning med naturresurser, och även tyvärr ofta i samband med mer eller mindre katastrofartade händelser i naturen, kommer et ökande antal människor i kontakt med geovetenskapliga problem..... Ställningstagande i sådana frågor kräver förståelse för de resonemang som bildar underlag för besluten. Tyvärr är kunskaperna på det geologiska fältet bristfälliga. Geologi intar en undanskymd plats i dagens skola...."

Samme indledning kunne stå i en tilsvarende dansk bog, hvis en sådan fandtes, hvilket desværre ikke er tilfældet. Også i Danmark er geologi svagt repræsenteret i skole-systemet, og den almene viden om geologiske emner er ikke noget at skrive hjem om. Jan Lundqvist har besluttet at komplettere den almene viden om geovidenskabelige emner ved at skrive bogen således, at den burde kunne læses og forstås uden andre forkundskaber end dem grundskolen har givet. Det er min vurdering, at dette er lykkedes i betydelig grad.

Jan Lundqvist er kvartærgeolog med erfaring fra mange års ansættelse ved Sveriges Geologiska Undersökelse og som professor ved Stockholms Universitet.

Bogen er i lille format, og alle afsnit er prisværdigt korte og klare, og synes jeg, lette at forstå. Bogen falder i tre dele: de geologiske processer, den geologiske udvikling og anvendelsen af geologi.

De geologiske processer behandles på 115 sider med hovedoverskrifterne Jordklodens opbygning (2 sider), mineraler og bjergarter (7 sider), geologisk aldersbestemmelse (9 sider), endogene processer (22 sider) og exogene processer (61 sider). Antallet af sider afspejler nok Lundqvists faglige erfaring, men også at det exogene område er mest relevant for et flertal af bogens læsere.

Jordklodens geologiske udvikling behandles på 59 sider, heraf 29 sider om Sveriges geologi.

Et hovedformål med bogen er at beskrive samfundets behov for og anvendelse af geologisk viden. Dette behandles på 67 sider i små afsnit om emnerne: geologiske

SKÆRENDE RELATIONER - EKSEMPLER FRA BORNHOLMSKE GRANITTER

Tommy Jørgart

Studier af skærende relationer er et af de grundlæggende elementer i det geologiske opklaringsarbejde, når aldersrelationer mellem to bjergarter eller strukturer skal fastslås. Det er i princippet nemt nok: En bjergart eller struktur A er yngre end den bjergart eller struktur B, den skærer igennem (figur 1). På internettet kan man finde instruktive eksempler f. eks.:

http://www-class.unl.edu/geol101i/08_geotime.html og

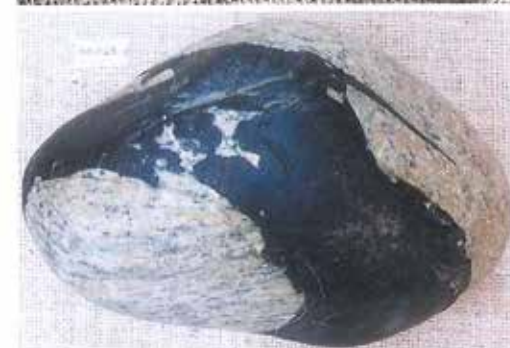
<http://www.usi.edu/science/geology/rcounts/geog112/Geologic%20Structures.ppt#1>.

På sidstnævnte www-side vises som de to sidste billeder den berømte lokalitet Siccar Point, der i 1788 gav James Hutton anledning til som den første at forstå og benytte princippet om skærende relationer. Ved Siccar Point skærer næsten vandrette lag af devon alder lodret stillede lag af ordovicisk og silur alder, rejst i forbindelse med den kaledonske foldning. Særligt interesserede kan søge på 'Siccar Point' på Google, og der kommer næsten 2000 fund med pragtfulde og instruktive billeder. På Bornholm



Figur 1.
To Rullesten fra Svarta Haller ved
Mölle, Kullen.

Øverst: En diabasgang skærer igennem en gnejs med et amfibolitparti. Skæringen viser, at diabasen er yngre end sidestenen. Forsætningen af de to sider underbygger historien. Stykket er godt 10 centimeter langt.



Nederst: En diabasgang skærer igennem en gnejs med tydelig stribning. Skæringen viser, at diabasen er yngre end sidestenen. Til overflod er der fragmenter af gnejsen ude i gangen og en apofyse (åre) af basalt trænger ind i som en kile. Stykket er af størrelse som en amerikansk fodbold.

er der gode eksempler, idet vi i første omgang går udenom granitternes indbyrdes relationer. Ved Listed ses f. eks. en diabasgang, der skærer granitgrundfjeldet, som her består af Svaneke-granit. Diabasgangen skæres selv af kambriske sandstens-
frange (se Varvs fører - Bornholms Geologi III fra 1989).

BORNHOLMS GRANITTER

De bornholmske grundfjeld omfatter mindst 4-5 granittyper plus en gnejs, sidstnævnte udgør arealmæssigt det meste af grundfjeldsområdet. Men der er en iøjnefaldende mangel på utvetydige skærende relationer. Forestillinger om, hvordan de utydelige strukturer kunne tolkes ved at udnytte og strække den begrebsverden, princippet om de skærende relationer er baseret på, har været anvendt i almindeligt nødværge bl.a. på følgende måde: Bornholmsk gnejs er sribet, idet de mørke mineraler ligger i flade eller langstrakte hobe, medens granitterne er (næsten) uden sribning. Adskillige steder er gnejs og granit i kontakt, og på disse lokaliteter kan der stedvis findes nogle striber i gnejsen, hvorimod granitten tilsyneladende mangler sribning. Ganske vist har vi stadigvæk til gode at se gnejsens striber ført frem til kontakten, hvor skæringen skulle finde sted som på figur 1. Andre overbevisende strukturer, som dem figur 1 viser, er ikke påvist. Alligevel kan det ud fra en fræk fortolkning søges hævdet, at granitten skærer gnejsen, altså at granitten er yngre end gnejsen. Hvordan skulle det kunne være anderledes? Svaneke-granitten og andre af de bornholmske - egentlige - granitter kan jo ikke bare dannes i den blå luft, hvorefter gnejsen kommer til senere i forløbet? Sådant påstandssindholdet naturligvis heller ikke. Det skal nedenfor påvises, at sribningen i de fleste tilfælde, hvor fyldestgørende observationer har kunnet gøres, er yngre end både gnejs og granit. Udtrykt sådan er der tale om en selvmodsigelse, da det er sribningen, der betinger, at vi kalder bjergarten for gnejs. Det er nødvendigt at gøre sig klart, at det materiale, som gnejs og granit er dannet af, eksisterede, før gnejsen fik sin struktur (sribning).

FORHOLD OMKRING SKÆRENDE RELATIONER

Princippet om skærende relationer betegnes ofte som sund fornuft anvendt på geologiske strukturer og materialer, men der er faldgruber. Dette gælder særligt, når observationerne er mangelfulde. Et nøjagtigt observationsarbejde er således påkrævet for at dokumentere, hvad der foregik på lokaliteten. Naturen sætter dog af og til sine egne grænser. Selv om observationerne er klokkeklare, må der advares imod at slå over på logisk autopilot, hvilket udtryk, jeg vil bruge til at dække flere slags fejl, der kan opstå ved letsindige tolkningsforsøg. Der er i det mindste følgende muligheder: 1) Begrebet 'skæring' bruges forkert eller på uklar måde, 2) ikke observeret skæring slutes på grund af bekvemmelighed eller ønsketænkning, eller 3) det videnskabsteoretiske grundlag for tolkningerne er ikke forstået.

GEOLOGIENS DAGE 2006

Geologiens Dage 2006 afholdes landet over lørdag den 30. september og søndag den 1. oktober.

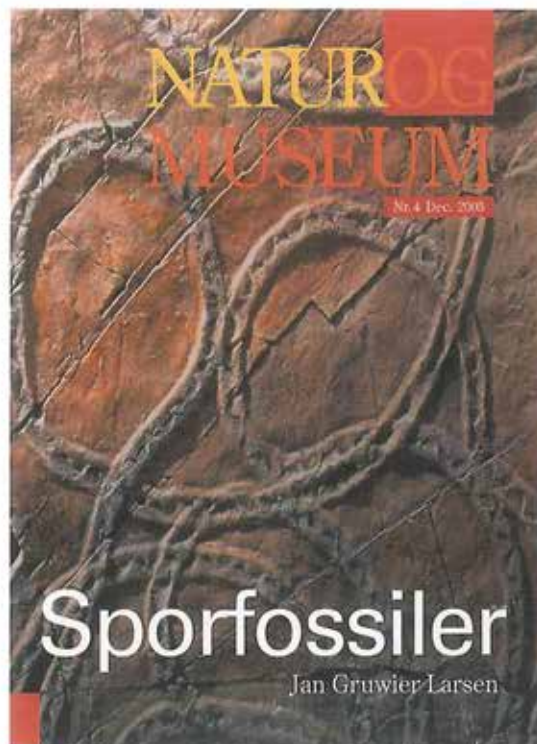
I år er der valgt et hovedtema, GeoSites i Danmark. GeoSites er steder, som er vigtige brikker i det store puslespil om at udrede Jordens historie. Derfor har disse steder særlig betydning for dansk og international geologisk forskning, undervisning og turisme. I anledning af at Danmark i år udpeger de danske GeoSites-kandidater, vil der på Geologiens Dage være mulighed for selv at opleve dem med en kyndig vejleder. Der vil være ture til mere end 25 Geosites. Foruden GeoSites-ture vil der være arrangementer, hvor man kan se og studere mange andre sider af Danmarks spændende geologi.

Geologiens Dage 2006 koordineres af Den Danske Nationalkomité for Geologi i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen, Geologisk Museum København, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Geologisk Institut, Aarhus Universitet. En lang række foreninger, museer og naturcentre medvirker desuden i Geologiens Dage.

Yderligere oplysninger om turene kan findes på www.naturnet.dk. Brug søgeordet 'Geologiens Dag' i fritekst-rubrikken. Her findes også kort med præcis angivelse af mødested. En oversigt over turene kan rekvireres hos GEUS (Henrik Højmark Thomsen, hht@geus.dk, 3814 2102).

i Danmark. Her er de sat op med en kort beskrivelse af de vigtigste kendetegn og en skitsetegning af sporet. Derudover er der til hvert sporfossil det latinske navn for sporet, de geologiske aldre sporfossilet optræder i samt et bud på, hvilke dyr der har skabt dem. Hvis man vil have en kort og letforståelig indføring i den fascinerende verden af sporfossiler, er dette hæfte et godt køb, og hæftets dimensioner og flotte illustrationer gør det velegnet til at tage med på sporjagt, næste gang man kommer forbi en strand.

Jesper Milàn



Ad 1) Vi ser på figur 2, hvordan revne A skærer revne B, hvorfor A er yngre end B. Forkert! En model for dannelsen af revner indebærer, at revnen vokser i spidsen (det kaldes propagerer) indtil den dør ud eller møder en forhindring. Revne B's videre udvikling er standset af revne A, der derfor er den ældste. Ordet 'skæring' er malplaceret i denne situation. Flere steder på Bornholm f. eks. ved Helligdomsklippen kan man nummerere generationer af revner. Eksemplet viser, at formen 'struktur A skærer struktur B' ikke kan stå alene. Læren om skærende relationer er kun brugbar i forbindelse med en dannelsesmodel.

Ad 2) Hvis observationen mangler visse af de diagnostiske elementer såsom kontakter, stribning, forsætning, apofyse (åre) er alt jo ikke tabt, men der kommer et tidspunkt, hvor observationen mangler for meget til en entydig fortolkning. Her kan geologen vælge at tilføje de manglende elementer mentalt, hvilket er meget risikabelt.

Ad 3). De iagttagne strukturer fortæller en historie, og gør det måske godt, men der er ingen sikkerhed for at der kun er et enkelt hændelsesforløb, der kan give anledning til de observerede strukturer. Dette er i realiteten et uomgængeligt vilkår, der kan vises at gælde for al videnskab, der bygger på eksperimenter og observationer: Disse fortæller intet i sig selv. En videnskabsteoretiker ville sige: 'Det er ikke muligt at



Figur 2.
Sprækker i maling på dørkarm. Der kan ses mange generationer af revner opstået gradvis ved, at malingen skrumper og træet holder sin form.

udlede tankenødvendige slutninger ud fra et sæt observationer'. Det, der kan gøres, er at frembringe hypoteser eller modeller, hvorefter der kan udledes konsekvenser, der kan testes ved observation. Der er ingen grænser for, hvor mange hypoteser, der kan opstilles. Når det alligevel ofte fremføres, som det også gøres i det følgende, at 'observationerne viser ...' er det i realiteten en overfortolkning, der ser bort fra andre mulige synspunkter. Den faglige debat foregår dog som regel uantastet og i mange tilfælde er der almindelig opslutning om en enkelt udlægning.

SKÆRENDE RELATIONER MELLEM BORNHOLMSKE GRANITTER

Den eneste sikre skærende relation, der fastsætter den indbyrdes alder af to af øens karakteristiske granitter, er kontakten mellem Vang-granit og Hammer-granit på lokaliteten Sjelle Mose. Denne lokalitet er et gammelt stenbrud nær Ols Kirke, behandlet fyldestgørende af Karen Callisen i 1932, omtalt i Varv-føreren 'Bornholms Geologi III' fra 1989 og stadig et besøg værd. Figur 3 viser den forenklede opbygning af et parti i bruddets nordvæg. Det ses, at Hammer-granitten sender en apofyse ind i Vang-granitten, som den altså skærer, hvorfor Hammer-granitten må være yngre. Det generer måske lidt, at apofysen ikke består af normal Hammer-granit, men af den finkornede bjergart aplit. Dette har offentligheden dog ikke ladet sig ryste af, idet Hammer-granit og aplit begge er meget lyse bjergarter i modsætning til den væsentlig mørkere Vang-granit. En model, der indbygger den lille forskel mellem Hammer-granit og aplit, er, at Hammer-granitten kun var ganske lidt smeltet, og med sin store andel af krystaller var for sej til at flyde ind i den forholdsvis snævre åbning i Vang-granitten. Kun dråber fra den lille mængde smelte lod sig vride ud af Hammer-granitten med henblik på at lade sig presse videre ind i revnen, hvor smelten krystalliserede som aplit.

Petrologiske smelteforsøg viser, at tilbageværende smelte i et afsluttende størkningsforløb konsekvent er sammensat med et maximum af de komponenter, der danner kvarts og feldspat og et tilsvarende minimum af de komponenter, der danner mørke mineraler som biotit, hornblende, titanit og malm. Hvis smelten formår at samle sig i separate legemer, vil den altså ende med at størkne som en meget lys bjergart af en nogenlunde ensartet sammensætning selv i forskellige miljøer. Summa Summarum: Takket være den petrologiske model, der underbygger køreplanen frem til dannelsen af de observerede strukturer, giver den fra Callisens tid erkendte aldersrelation ikke anledning til kritiske anmærkninger, selv om det ikke er Hammer-granit i sædvanlig forstand, der skærer Vang-granit. Vi ser endnu engang betydningen af en dannelsesmodel.

PROBLEMATISKE EKSEMPLER MED MIGMATIT

Herefter bliver det mere problematisk, og vi vil gå grundigt til værks. En faktabox giver et genopfriskningskursus vedrørende gnejs og migmatit og andet nødvendigt

ANMELDELSE SPORFOSSILER

Jan Gruwier Larsen: Natur og Museum hæfte 4, 2005. 36 sider.
Naturhistorisk Museum, Århus. ISBN 87-89137-98-1. Pris 60 kr.

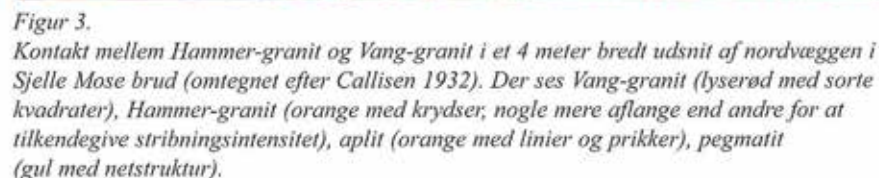
I forbindelse med at Adolph Seilachers udstilling Fossil Art - Spor i Tiden er i Danmark, har Naturhistorisk Museum i Århus udgivet et temahæfte om sporfossiler i Natur og Museum serien. Hæftet er skrevet af biolog Jan Gruwier Larsen, der er museumsinspektør på Naturhistorisk Museum i Århus.

Hæftet starter med en introduktion til sporfossiler, der tager udgangspunkt i eksempler fra udstillingen Spor i Tiden. Dernæst giver hæftet en gennemgang af de mest almindelige typer af sporfossiler, man kan finde på de danske strande, og en forklaring på hvilke dyr der har lavet dem, og hvilken adfærd der står bag de ofte indviklede mønstre sporfossilerne danner. Alle eksemplerne er illustreret med flotte farvebilleder af høj kvalitet samt små forklarende idealiserede skitser af sporfossilerne.

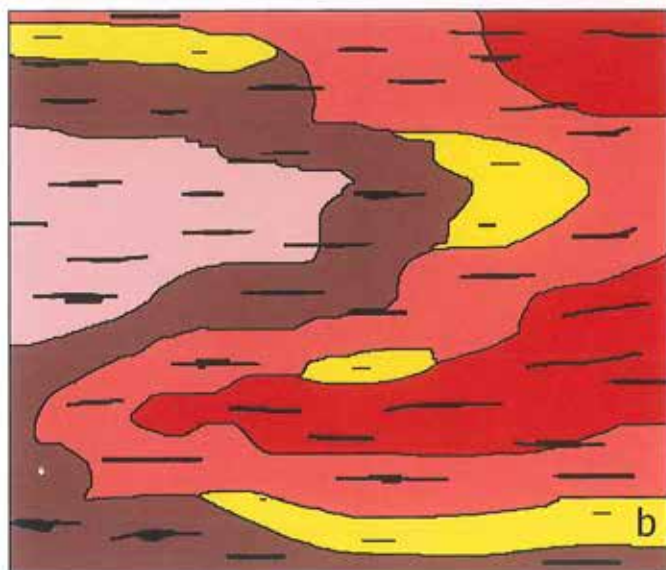
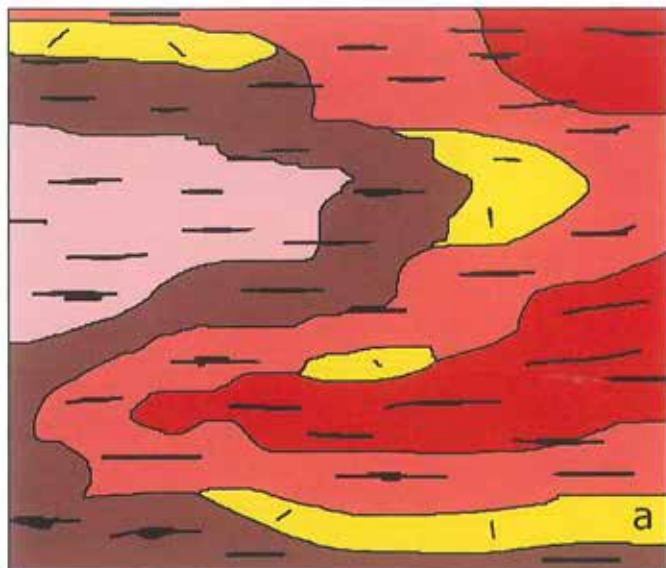
Da studiet af sporfossiler i dag er en enorm videnskab i rivende udvikling, hvor der hele tiden findes nye typer af sporfossiler ligesom gamle sporfossiler konstant omfortolkes, vil det være umuligt at repræsentere alle typer sporfossiler i et hæfte som dette. Dermed virker det som et klogt valg af forfatteren i stedet at satse på få enkelte typer af sporfossiler, der til gengæld er så almindelige at de fleste kan gå ud og finde dem på stranden. De eksempler, der bliver gennemgået, er lodrette gravegange som Skolithos og Diplocraterion, der er almindeligt forekommende i Kambriske sandsten. Sporfossiler fra kalk og flint får den største opmærksomhed, da disse er de hyppigst forekommende i Danmark og findes i alle former og afskygninger. Forfatteren kommer også ind på, hvad forskelle i konsistensen af substratet et dyr graver i betyder for, hvordan en gravegang kommer til at se ud. Eksempelvis har en gravegang fra samme type krebsdyr hele tre forskellige navne. Hvis sedimentet har været så hårdt, at der er kradsemærker i siderne på gangen hedder sporfossilet Spongeliomorpha, og hvis sedimentet har været så blødt, at dyret har måttet forstærke gangen med sammenkittede kugler af sediment, hedder sporfossilet Ophiomorpha. Hvis der blot er glatte vægge i gravegangen, så hedder sporfossilet Thalassinoides. Derudover kommer hæftet også ind på andre typer af gravende organismer, samt borer i sten og skaller.

Bagerst i hæftet er en række forslag til supplerende læsning om sporfossiler, både til mere teknisk litteratur, lærebøger og populærvidenskabelige artikler. På de to sidste sider i hæftet er et skema med de mest almindelige typer sporfossiler, man kan finde

Udstillingen Spor i Tiden kan klart anbefales til enhver med naturhistorisk interesse, og kan ses på Naturhistorisk Museum i Århus fra 10. januar til 17. april, dernæst på NaturBornholm fra 15. juli til 15. september og til sidst på Geologisk Museum i København fra 4. oktober til 3. december.



1



Figur 4.
Migmatitter (se faktabox) med strukturer, der viser subtile forskelle, der dækker over processer med vidt forskellige tidsforløb. (a) Leukosomet (gult) har striber med en helt anden orientering end de omgivende foldede gnejsiske lag, hvilket betyder, at leukosompartierne afskærer sribningen. Gnejsen med striberne er altså ældst, leukosomet yngst. (b) Stribningen 'skærer' leukosomet. Stribningen er altså yngst.



De udstillede afstøbninger af sporfossiler er alle mellem en og to meter høje og i bedste kunstudstilling-stil monteret lodret i grupper på fire, så man kan gå rundt blandt 'værkerne'.

SPOR I TIDEN – NÅR PALÆONTOLOGI BLIVER TIL KUNST

Jesper Milàn

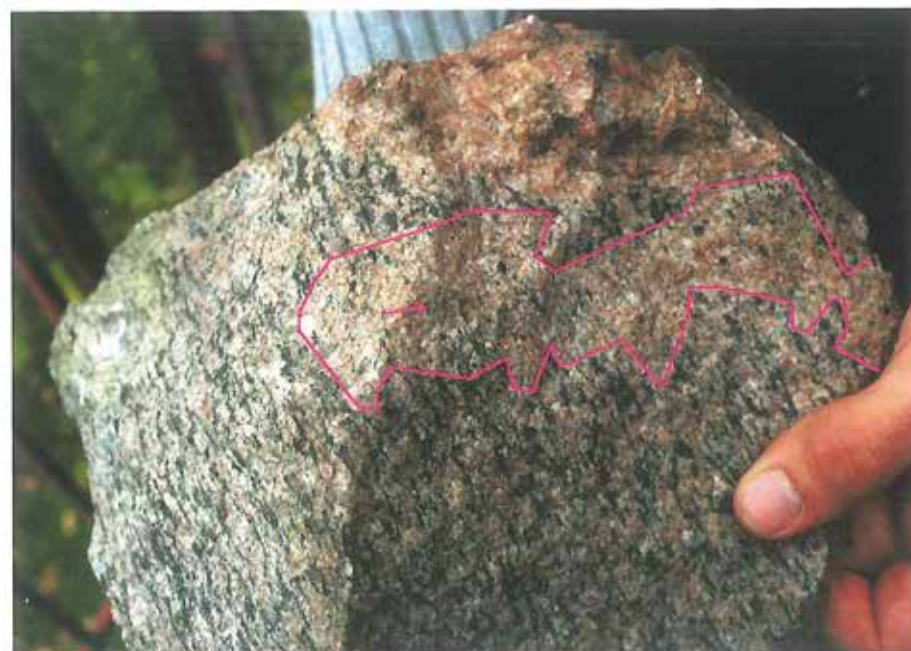
Sporfossiler er en særlig type af fossiler, der er ekstremt almindelige og kendes fra fossile aflejringer lige så længe, som der har været liv på jorden. Sporfossiler er ikke 'rigtige' fossiler, idet de udelukkende repræsenterer de fossile spor, dyr har efterladt sig, mens de levede. Dermed adskiller sporfossiler sig fra andre fossiler ved snarere at afspejle fossil adfærd i stedet for de fossile rester af et dyrs krop. Gravegange og forstenede fodspor er det de fleste forbinder med sporfossiler, men faktisk er alle de typer af spor et dyr kan efterlade sig potentielle sporfossiler. Eksempelvis er en fossil knogle ikke et sporfossil, men hvis der er bidmærker i knoglen, fra en der har spist knoglens ophavsmand, er selve bidmærkerne sporfossiler. Et forstenet dinosauræg er ikke et sporfossil, det er et kropsfossil, men hvis dinosauren har gravet en rede til ægget, er selve reden et sporfossil. Forstenet afføring fra dyr er sporfossiler. Mange krokodiller og fugle har en kråse med sten, gastrolitter, de bruger til at formale føden med. Disse sten findes typisk sammen med skelettet eller alene i udgravninger. Stenene er ikke et sporfossil. Det karakteristiske slidmønster, der er opstået på stenene ved at de gennem lang tid er blevet kværnet rundt i kråsen, er et resultat af bioerosion og dermed et sporfossil. Langt de almindeligste sporfossiler er dog gravegange eller sporserier fra dyr, der har levet på eller i havbunden og har gennemgravet sedimentet i søgen efter føde.

Sporene efter en sådan adfærd kan ofte være særdeles komplicerede, og derfor kan velbevarede sporfossiler være utroligt smukke og fascinerende, og formerne kan ofte minde om rene kunstværker i klipperne. Det er netop denne sammenhæng, der er udgangspunktet for en udstilling, der i år er på besøg på Naturhistorisk Museum i Århus, NaturBornholm og Geologisk Museum i København.

FOSSIL ART – SPOR I TIDEN

Manden bag udstillingen er den tyske palæontolog Adolph Seilacher, der gennem sit livslange arbejde har været en af de mest indflydelsesrige mænd indenfor ichnologien, studiet af sporfossiler. Adolph Seilacher modtog i 1992 den prestigefulde Crafoord pris fra det Svenske Videnskabernes Akademi for sit arbejde med sporfossiler. Pengene fra prisen blev brugt til at rejse rundt til alle de bedste sporfossillokalteter i verden og fremstille meterstore afstøbninger af lagflader med de flotteste sporfossiler fra alle Jordens tidsaldre. Resultatet af dette arbejde er blevet udstillingen Fossil Art, hvilket i den danske bearbejdning er blevet til Spor i Tiden.

loten råde. Det ville i givet fald føre til, at de lyse (gule) årer (leukosomet) i begge tilfælde afskærer striberne, de vandrette streger, der karakteriserer den omgivende gnejsstruktur, og derfor er yngre i begge tilfælde. Men der er en væsentlig forskel på figur 4a og 4b. På figur 4a er sribningen afbrudt af de lyse partier, hvilket må være kravet til den utvetydige skæring. Altså, leukosomet (åren) er yngst. I figur 4b fortsætter sribningen igennem det lyse parti, hvorfor åren er ældst og sribningen yngst. Det, der primært forhindrer, at dette straks ses, er, at den lyse åre stort set ikke indeholder mørke mineraler, og det er tydeligvis disse, der 'bærer' sribningen. Det er

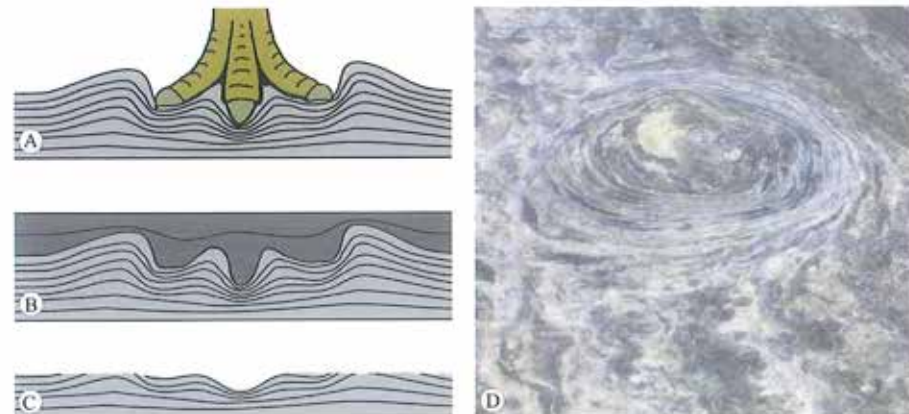


Figur 5. Migmatittisk gnejs fra gammelt brud ved Rokkestenen i Rutsker Højlyng. Hovedparten af stykket udgøres af normal nordbornholmsk gnejs med pæne lange striber. Derudover forekommer yderligere to enheder. Øverste del af håndstykket udgøres af en pegmatit, der synes at afskære gnejsens sribning. Lige nedenunder, parallelt med pegmatitten ses et uregelmæssigt og diffust parti af lys granit, hvis omrids tydeliggøres af en lyserød kurve. Det er dette parti, der gør gnejsen til en migmatit. Partiet selv betegnes et leukosom (se box) Det vi skal hæfte os ved her, er at leukosomet indeholder ganske små mængder af mørke mineraler, som giver partiet en svag sribning. Her er tale om ganske korte og tynde striber, og det er let at komme til at overse dem. Pilen peger på en diminutiv stribe, og umiddelbart til højre for den ses yderligere tre striber. I det lyse parti kan man tælle op imod tyve lignende striber. Sribningen i leukosomet har omtrent samme retning som i det gnejsiske mesosom, dvs den synes at skære igennem både gnejs og leukosom med samme orientering og er derfor yngre end begge enheder.

altså ganske svage spor, der skal opdages, men dette er jo ikke principielt anderledes end f. eks. et fingeraftryk, der uanset, det er ganske svagt og usynligt, når det observeres uden særlige hjælpemidler, er en observation, der regnes for så sikker, at den kan føre til rettergang og domfældelse. Sporene er svage, men alligevel tungtvejende, så længe vi holder os til principielle skitser. I virkeligheden er det sværere.

Figur 5 viser et håndstykke fra et gammelt stenbrud nær Rokkestenen i Rutsker Højlyng. Her er ikke meget tvivl: Stribningen skærer igennem leukosomet og er derfor yngst. Alligevel er der måske en lille tvivl, der gnaver. Dels er der nogle få striber af mørke mineraler, der ikke ligger med den 'korrekte' orientering. Dels er mineralernes kontakter temmelig slørede, så man kan måske blive fristet af den mulighed, at stribningen er en gammel struktur, der har overlevet i udvisket form. En tid var det en populær forestilling, at leukosomet har replaceret (erstattet) den oprindelige gnejs uden fuldt ud at gennemføre processen med at opløse og genafsætte de mørke mineraler med anden orientering. Dette blev af Harry Micheelsen kaldt dispers replacering og var hans foretrukne model for strukturens dannelse, da han studerede de bornholmske granitter omkring 1960. Når nærværende forfatter og de fleste andre geologer i dag foretrækker at betragte stribningen som yngst, skyldes det flere forhold, hvoraf tre skal nævnes. 1) Der er i dag større forståelse for, hvad overvejelser, som dem, der gøres i forbindelse med figur 4, egentlig går ud på. 2) Dispers replacering kræver omfattende udskiftning af kemiske komponenter, når gammel gnejs skal omdannes til leukosom, medens kun ubetydelig deformation og rekrySTALLISATION er nødvendig for at lave stribning i ustribede bjergarter. (Endnu et stykke videnskabsteori: Enkelhedens princip, hvis opståen tilskrives William af Occam, der arbejdede i begyndelsen af 1300-tallet og citeres for følgende: Man skal ikke gøre med meget, hvad man kan gøre med lidt.) 3) Et hændelsesforløb, hvor bjergkædefoldning står på igennem lang tid, er normalt præget af deformation både før, under og efter de magmatiske processer. Det kan ikke forventes, at deformationerne ophører senest samtidig med størkningen af de smeltede bjergarter. Det er dog tilsyneladende undtagelsesvist sket i andre granit-miljøer, f. eks. i Smålands granitter, der ikke bærer spor efter deformation overhovedet.

Til trods herfor må man dog se i øjnene, at eksemplet ikke vil overbevise alle om, at stribningen er yngst. I så fald vil det være endnu en stramning med det endnu vanskeligere eksempel vist på figur 6. I dette er der to retninger, der begge synes at have påvirket både leukosomet og de mørke mineraler, men ikke lige meget. Min fortolkning er, at den deformation, der rammer de større smeltepartier (leukosom) er ældre end den, der rammer de mørke mineraler og de små og tynde leukosome årer. Den, der ikke føler sig tryk ved dette, må trøste sig med, at næste eksempel retter op på alle fortrædeligheder.



Figur 11.
Model for dannelsen og erosionen af fodsporene fra Entrada Sandstenen. A, dinosauren går i det fint laminerede sand på interklitaflejringerne. Sandlagene under foden komprimeres, og der dannes undertracks. Rundt om fodsporet dannes en vold af sand som er blevet skubbet væk af vægten fra foden. B, lagfladen begravnes og klitsandet hærder til sandsten. C, i dag er fodsporene blottet i mange forskellige erosive stadier. D, her ses et eksempel hvor hele det oprindelige spor næsten er eroderet væk, og den opskubbede vold rundet om sporet danner et sæt af koncentriske cirkler rundt om det oprindelige spor, der svagt kan anes i midten.

for forskellige grader af erosion. I nogle tilfælde, hvor selve fodsporene er blevet eroderet helt væk, kan man stadig se, hvor sporet oprindelig var, idet de undertracks, der blev dannet i lagene under foden, nu fremstår som en serie af koncentriske ringe i sandstenen. Alt efter hvor bløde og vellaminerede sedimenterne var, kombineret med vægten af det dyr der har lavet sporene, kan undertracks dannes til en betydelig dybde under det oprindelige fodspor. De store rovdinosaurer, sporene fra Entrada Sandstenen stammer fra har været så tunge at de har deformeret sedimentet og dannet undertracks helt ned til omkring 20 centimeters dybde under de oprindelige spor. Kombinationene af et stort antal velbevarede fossile fodspor og den specielle måde erosionen har blottet fodsporene på, gør Twentymile Wash lokaliteten til et af verdens bedste steder at studere dannelse og bevaring af fossile dinosaurspor. At lokaliteten så desuden ligger midt i Utah's smukke og vilde natur, omgivet af fantastiske geologiske blotninger, er så en ekstra bonus man må leve med, når man arbejder på lokaliteteten.



Figur 10.
Fint netværk af gravegange
fra termit- eller myrelignende
sociale insekter. Da insekterne
gravede netværket, gravede
de det rundt om roden fra en
plante.

meterlange gravegange der er mellem 5 og 10 centimeter tykke fra dyr, der har levet nedgravet i sandet. Der er også spor efter planterødder og sociale insekter, der ser ud til at have levet i kolonier ligesom moderne myrer eller termitter. Specielt optræder der fine netværk af insektgange rundt om de fossile planterødder, som om insekterne har anlagt deres netværk af gange efter planternes rødder (figur 10). Så måske har der ikke været så øde endda, og i hvert fald har der været noget ved området, der har gjort det attraktivt for rovdinosaurer i alle størrelser at opholde sig der.

Udover de talrige velbevarede dinosaurspor er denne sporlokalitet unik idet sedimentologien og erosionen på stedet gør det muligt i detaljer at studere, hvordan spor bliver afsat og bevaret i fossile ørkenaflejringer. De fint laminerede interklitaflejringer er i dag eroderet ned til forskellig dybde, hvilket har blottet adskillige af dinosaursporene eroderet til forskellige grader og i forskellige erosive snit.

Når et dyr træder i et sediment, bliver vægten fra dyret transmitteret radiært ud i sedimentet og skaber en 'bølge' af deformation rundt om fodsporet. Lagene direkte under foden bliver kompakteret, og der dannes 'undertracks' langs de underliggende horisonter, mens sedimentet ved kanten af foden skubbes udad og kan danne en vold rundt om fodsporet (figur 11). I fint laminerede sedimentter som interklitaflejringerne i Entrada Sandstenen bliver dette fænomen meget tydeligt, når sporene har været udsat



Figur 6.
Paradisbakke-migmatit på fladen umiddelbart ovenfor Præstebo bruds nordvæg. Midterfeltet i figuren er skærpet op med brug af diverse filtre i forbindelse med billedbehandling. Som yderligere hjælp til observationerne er indsat et lille felt, hvor leukosomet er fremstillet som lysegrønne bånd og melanosomet som lyserøde streger. De leukosome partier ('flammerne') og sribningen har ikke samme retning, men danner en vinkel på 35-40 grader. Hvad skærer hvad? Her benytter vi os af den gængse teori for dannelse af migmatit: Leukosomet har lokal oprindelse, idet det ved sin dannelse har afsat et ubrugeligt overskud af komponenter som en mørk zone, et såkaldt melanosom, langs med randen (se box). Stribningen her er meget iøjnefaldende vinklet i forhold til leukosomets retning. Da melanosomet ifølge dannelsesmodellen er samtidig med leukosomet og 'skæres' af sribningen, er sribningen yngst. Indrømmet, det vil næppe overbevise alle.

FRA GRANIT TIL GNEJS

Skærende relationer er i virkeligheden kun en af mange variationer over temaet 'strukturer fortæller den geologiske historie'. Fra Ringebakker bruddet stammer flere iagttagelser, der viser overgange fra Vang-granit til gnejs. Figur 7 viser et særlig lærerigt eksempel. Til venstre i figuren ses typisk Vang-granit, til højre i figuren ses en pegmatitgang. Overgangen fra Vang-granit til gnejs foregår midt i billedet, sribningen bliver mere intens tættere på pegmatitgangen. Indenfor de sidste centimeter før kontakten med pegmatitten topper sribningen med dannelsen af en finkornet bjergart, der smyer sig langs med pegmatitten. Forsiden viser et nærbillede. Stribningen opstår tydeligvis som et produkt af en udtværing af de mørke mineraler, mest intens

i den finkornede bjergart. En sådan finkornet bjergart dannet ved udtværing (også betegnet dynamo-metamorfose) kaldes mylonit. Pegmatitten selv er også ramt af dynamo-metamorfosen, men slet ikke i samme omfang som granitten. Fordelingen af zonerne viser snarere, at pegmatitten synes at have fungeret som det faste bolværk, deformationen spiller op imod. Dette er noget ganske uventet, idet pegmatitter såvel



*Figur 7.
Vang-granit forvandles til gnejs og mylonit. Fladen er en del af en meget stor blok (5-8 tons), der har sin oprindelse i Ringebakker stenbrud syd for Vang. Indtil for nylig var den opstillet langs et hjulspor, der udgik fra Vang havn 400 meter mod syd. Men den forsvandt sporløst. NaturBornholm, som ejer blokken, har sat en eftersøgning i gang.
En dusør på 5.000 kr. udloves af forfatteren. Til hjælp for eftersøgning og identifikation kan en pdf-fil med mange billeder og dertil hørende beskrivelse hentes på Vang-monolithens webside <http://t.jorgart.googlepages.com/vangmonolith>. Oplysninger om og yderligere hjælp til eftersøgningen gives på NaturBornholms webside www.naturbornholm.dk. Se også forsidebilledet.*



i almindelighed og på Bornholm i særdeleshed er de sidst størknede dele af granitgrundfjeldet og derfor skulle forventes at være de blødeste partier sent i forløbet. Forklaringen må være, at figur 7 har fastfrosset et tidspunkt, hvor størkningen definitivt er et overstået stadium. I den metamorfe fase, som fulgte efter størkningen, må granitten se sig om efter et andet smøremiddel til at befordre dens deformerbarhed, nu da de sidste smeltesdråber, der kunne fungere som smøremiddel, ikke er mere. Her falder valget på biotit, mørk glimmer, som i kraft af sin laggitterstruktur tillader deformation (glidning) på langs af lagfladerne.

Det er meget vanskeligt at finde nogen anden dækkende forklaring på observationerne i figur 7 end netop metamorfose, dynamo-metamorfose i mylonitzonerne.



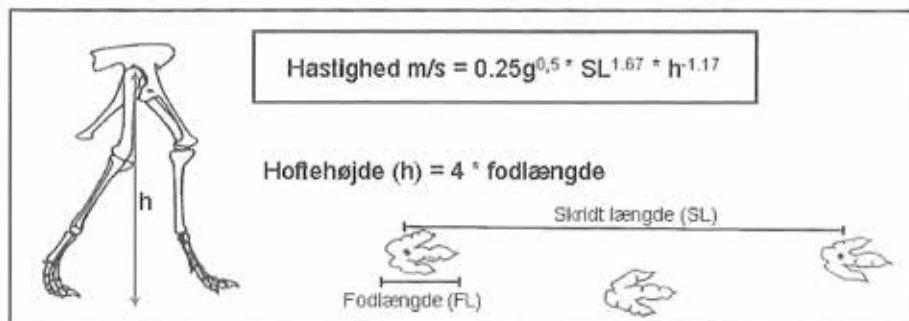
*Figur 9.
Sporserien efter en sauropod dinosaur. Bemærk det tydelige slangeformede spor efter dyrets hale der har slæbt mellem sporene fra højre og venstre side af dyret. Denne sporserie er måske det tidligste vidnesbyrd om sauropoder i Nordamerika. De ældste kendte skeletter optræder først millioner af år senere.*

der har slæbt hen ad sandet (figur 9). Dette er meget usædvanligt, og aftryk fra haler i dinosaursporserier kendes kun i ganske få tilfælde fra hele verden, og ligner mere punktvis aftryk fra en hale, der har svinget ned og ramt jorden, og ikke et sammenhængende spor som det her er tilfældet. Alle moderne biomekaniske rekonstruktioner af sauropoder viser at dyrenes haler har været holdt løftet fri af jorden på højde med ryggen og fungeret som modvægt til deres lange halse. En anden virkelig interessant ting ved sporserien er at, hvis den virkelig stammer fra en sauropod, i så fald er det tidsmæssigt tidligste bevis for sauropoder i Nord Amerika. De tidligste skelet rester af sauropoder, man kender, stammer fra Morrison Formationen fra slutningen af Juratiden.

At dinosaurerne at dømme efter mængden af fodspor var så talrige i området i Jura tiden er besynderligt, især når klart hovedparten af sporene er fra store rovdyr på flere meters længde. Ved første øjekast ser aflejringerne af Entrada Sandstenen ud til at være rene ørkenaflejringer uden spor af liv, på nær alle dinosaursporene. Ved et nærmere studie kan man se, at der rent faktisk har levet en masse forskellige dyr og også planter i området. Langs nogle horisonter og fra bunden af klitafler findes



Figur 7.
Her er studerende fra
Geologisk Institut, København,
i fuld gang med at opmåle en
sporserie fra en stor rovdino-
saur, så det kan fastslås, hvor
hurtigt den har gået.



Figur 8.
Formel til beregning af en dinosaurs ganghastighed ud fra dens fodspor. SL = skridtlængde,
FL, fodlængde. Hofteøjden (h) beregnes for rovdinosaurer som 4 x fodlængden.

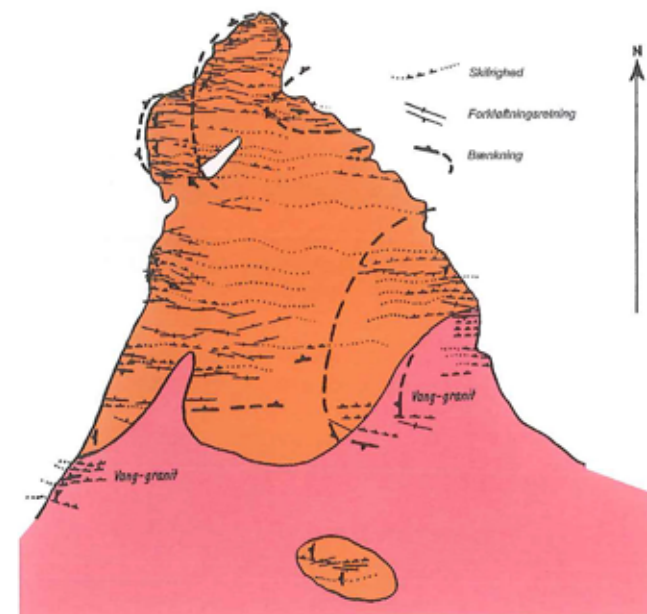
når man kun har en fossil sporserie at arbejde med, men målinger på skeletter har vist at en hofteøjden stort set altid passer med fire gange fodlængden, som man kan måle fra fodsporet. Derved bliver det muligt at beregne, hvor hurtigt dinosaurerne gik dengang de satte deres spor. De typiske ganghastigheder, man måler, er mellem 4 og 6 kilometer i timen, som svarer til et roligt gangtempo. Dog kendes der enkelte tilfælde, hvor man har beregnet ganghastigheder på om mod 40 kilometer i timen, fra løbende dinosaurer.

Sammen med sporene fra rovdinosaurerne findes også to sporserier fra en mindre sauropod, dinosaur. Sauropoderne var firbenede planteædende dinosaurere, og sporserierne fra dem består af skiftevis store og små aftryk fra deres for- og bagfødder. En særlig interessant ting ved sporserien er, at der mellem aftrykkene af fødderne fra højre og venstre side af dyret er bevaret et tydeligt slynget spor fra dyrets hale,

Specielt må det anses for hævet over al tvivl, at gnejs i dette tilfælde er opstået ud fra Vang-granit. I terrænet foregår overgangen fra Vang-granit til den syd for liggende gnejs ligeledes ganske gradvist, men her sker det over nogle kilometer. Gnejsen i området udviser stor lighed med Vang-granitten og har ikke mindst dennes vigtigste kendetegn: de velafgrænsede og store mørke pletter ('hobe'), som dog er blevet væsentlig fladere i gnejsen. Mod syd bliver sribningen mere og mere udtalt, mylonitoner ses dog ikke regionalt. Det må anses for muligt, måske ligefrem sandsynligt, at gnejsen i området syd for den typiske Vang-granits udbredelsesområde er opstået ud fra Vang-granit.

DEFORMATION OG DE BORNHOLMSKE GRANITTER

Man kan spørge, hvorfor deformationen ikke ramte den normale Vang-granit. Det gjorde den såmænd også og endda tillige Hammer-granitten længere mod nord, hvilket vises af en svag sribning i begge granitter (figur 8). I det hele taget er det almin-



Figur 8.
Sribning og anden deformation på Nordbornholm omfattende Hammer-granit (orange) og dele af Vang-granitten (lyserød). (Efter Bubnoff 1938.) Den øst-vest gående skiffrighed (=foliation, se faktabox) er markeret med streger; der midtpå er forsynet med en lille tværstreg som regel pegende mod nord. Stregens orientering kaldes strygningen, tværstregen kaldes hældningen. Herved udtrykkes den rumlige orientering af foliationen. (De to øvrige signaturer, 'forkløftning' og 'bænkning', vedrører nogle grovere tektoniske strukturer, vi kan se bort fra i denne sammenhæng.)

deligt, at de bornholmske granitter er lidt sribede og næsten alle med den karakteristiske øst-vest strygning og den nordlige hældning som i gnejsen. En af dansk geologis mest fejrede personligheder N.V. Ussing studerede kontakten mellem gnejs og Svaneke-granit ved Listed i 1904, og bemærkede, at sribningen i gnejsen fortsatte ind i Svaneke-granitten hen over grænsen. Ussing drog den slutning, at sribningen var yngst. Karen Callisen protesterede voldsomt i sin doktordisputats 1932 og fik det sidste ord i meget lang tid. Callisens vigtigste argument var, at Svaneke-granitten førte indesluttede brudstykker af gnejs, der udviste den for gnejsen normale struktur, og derfor måtte have været fast, før Svaneke-granitten intruderede. Callisens opfattelse byggede på, at sribningen var en flydestruktur i smeltet granit. Her er altså tale om en overvejelse baseret på princippet om skærende relationer. Den er som foreskrevet ledsaget af en dannelsesmodel (men også, hvad vi ovenfor kaldte mental ekstrapolation). Diskussion mellem Ussing og Callisen kan vi afgøre i dag, idet NaturBornholm har opstillet et eksemplar af Svaneke-granit med en gnejsisk indeslutning (figur 9). Det ses tydeligt, at sribningen 'skærer' gennem granit og indeslutning med samme retning. Sribningen er altså yngst, Ussing havde ret.



Figur 9.
Svaneke-granit med stor indeslutning af gnejs. Sribningens retning i granit såvel som i gnejs-
indeslutningen følges skråt ned over billedet, ca. 25 grader i forhold til billedets lodrette
begrænsninger. Man skal fokusere på de enkelte sribers retning uden at blive vildledt af, at
gnejsen indeholder et smalt mørkt bånd, hvis retning er nærmere 35 grader fra billedkanten.
Dette bånd markerer muligvis en overlevende rest af en primær lagflade.



Figur 5.
Et enkelt fodspor fra en stor rovdinosaur med en fodlængde på omkring 50 centimeter.
Bemærk aftrykene fra de kraftige kløer for enden af hver tåaftryk.



Figur 6.
Lagflade med spor fra store rovdinosaurer. De tre spor i venstre side er en del af en sporserie, der går ind i billedet. Den tilsyneladende spidse 'hæl' på disse spor viser, at dele af dinosaurens mellemfod har været i kontakt med sedimentet.

Interklitaflejringerne er mere resistente mod erosion end de krydslejrrede enheder, og en af interklithorisonterne nær toppen af blotningen danner et stort plateau (figur 3). På dette plateau er der bevaret spor og sporserier fra mindst 30 rovdinosaurer, og størrelsen af deres fodspor varierer fra 4 til over 50 centimeters længde (figur 4 og 5), hvilket viser, at dinosaurerne, der har levet i området, har varieret i størrelse fra små dyr, ikke meget større end en moderne krage lige til kæmper på 8 til 10 meters længde som *Allosaurus* eller *Ceratosaurus*.



Figur 4.
Lille tretået fodspor på
fire centimeters længde.
Dinosauren, der satte sporet,
var en lille rovdinosaur, der
ikke har været meget større end
en moderne krage eller havmå-
ge. Skalaen i siden af billedet
er i centimeter.

De bedst bevarede rovdinosaurspor viser tydeligt formen af foden på de dinosaurer, der lavede sporene. Fødderne mindede meget om fødderne hos moderne store flugtløse fugle som emu, kasuar og rhea. De var funktionelt tretåede, og tærerne var delt op i et antal trædepuder, der hver dækkede leddene mellem de enkelte tåknogler. Opdelingen i individuelle trædepuder og aftryk fra tærnes skarpe kløer kan ses i de bedst bevarede spor. Rovdinosaurerne var tågængere ligesom moderne fugle, dvs. at de kun gik på selve tærerne, og holdt den forlængede mellemfod fri af jorden, når de gik. Dog kendes der enkelte, sjældne tilfælde, hvor man finder rovdinosaurspor, der har bevaret helt eller delvise aftryk, hvor mellemfoden har været i kontakt med jorden, mens de har gået. En sådan sporserie findes bevaret blandt alle de normale sporserier på plateauet. Det har været foreslået, at rovdinosaurspor, hvor mellemfoden er i kontakt med jorden, er et resultat af en lav 'krybende' gang eventuelt i forbindelse med jagt (figur 6).

I tilfælde, hvor man kan følge sporene fra den samme dinosaur over lange distancer, er det muligt at beregne dinosaurens ganghastighed ud fra skridtlængden mellem to spor fra den samme fod (figur 7). Denne værdi indsættes i en formel (figur 8), hvor også hoftehøjden indgår. Desværre kendes hoftehøjden på dinosaurerne stort set aldrig,

BETYDNING FOR KRONOLOGIEN

Callisen inddelte de bornholmske granitter i en ældre og en yngre afdeling. Denne kronologi står på to ben. 1) Kontaktrelationerne i Sjelle Mose bruddet sender Vang-granit til den ældre afdeling, Hammer-granit til den yngre. 2) Den ikke-eksisterende kontaktrelation, hvor Svaneke-granitten skærer gnejs, herunder Paradisbakke-granit, sender gnejsen til den ældre afdeling, Svaneke-granitten til den yngre afdeling. For at simplificere granitternes dannelseshistorie har Callisen altså besluttet sig for, at korrelere (dvs. sætte tidsmæssigt lighedstegn mellem) Hammer-granit og Svaneke-granit på den ene side og Vang-granit og gnejs på den anden. Men dette er ikke begrundet i de geologiske observationer. Ud fra Callisens observationer kan man ikke skelne mellem følgende tre muligheder: 1) Vestbornholm (Hammer-granit, Vang-granit) er i sin helhed yngre end Østbornholm (gnejs, Svaneke-granit), 2) det kan være omvendt, eller 3) der er tidsmæssigt overlap, endda flere muligheder. I litteraturen, heriblandt også dele af den nyere litteratur gengives den forenklede to-delte kronologi dog beklageligvis uden forbehold.

Callisens erkendte ikke, at gnejsen og Svaneke-granitten begge er præget af den samme stribning, men sært nok ændrer det kun lidt ved bedømmelsen af aldersrelationerne mellem granitterne på Østbornholm. Den største ændring sker med de ord, man benytter i beskrivelsen, når nu stribningen er et resultat af sen deformation under metamorfose. De materialer, der udsattes for deformationen, forgængerne for nutidens bjergarter Svaneke-granit og gnejs, betegnes protolither. Den almindelige opfattelse, at Svaneke-granitten intruderer gnejsen og Paradisbakke-granitten og derfor er yngre end disse, handler nu om disse bjergarters protolither, ikke dem, der er i dag, men deres måske ustrubede, måske delvis smeltede forgængere. Begrundelsen for denne opfattelse, som altså ikke er så ny endda, kan altså ikke længere hvile på strukturelle observationer, men hentes fra andre geologiske discipliner. Frem for alt vides det efterhånden med stor sikkerhed, at større granittiske partier kun kan dannes ved smeltning af andre bjergarter i kontinentsskorpen. Hvad angår Svaneke-granittens oprindelse, tyder kemiske forhold på, at den kan være dannet ud fra Paradisbakke-granitten, som den støder op til, ved anatexis (delvis opsmeltning). (Efter dette fulgte muligvis nogle kilometers opstigning.) Dette bygger altså på andre metoder end observation af skærende relationer.

Vang-granittens plads i den reviderede kronologi kan indtil nogen undersøger forholdende mere grundigt foreløbig beskrives således: 1) Vang-granittens protolith dannes ved anatexis udfra ukendte bjergarter, der antagelig har lignet gnejsen eller rettere dens protolith. 2) Orogene bevægelser (bjergkædefoldning) og metamorfose danner Vang-granit og gnejs (giver dem deres nuværende udseende). Dette er naturligvis alt for kringlet sprogbrug, men mindre end det risikerer at drukne det vigtige budskab, at deformationen er yngst.



Figur 10.
Kontinentale flager under sammenpresning. Modellen viser effekten af sammenpresning opdelt i seks trin. Digteriske tilføjelser forekommer i form af sedimenter og forkastninger: Man må forestille sig Bornholm til og med Ertholmene som et ca. 40 kilometer langt profil opbygget som næstsidste figur igennem trin svarende til de fire første figurer. Den sidste figur har for stejl hældning, men er med for fuldstændighedens skyld.

REGIONAL DEFORMATION

Historien er ikke slut, før der er givet en forklaring på den deformation, der efter alt at dømme ramte Bornholm efter, at granitterne var størknet. Resultatet var et grundfjeldsområde, som i sin helhed bestod af granitter og gnejser med en foliation med øst-vestlig strygning og en nordlig hældning på omkring 40 grader. Udstrækningen af det område, hvor denne orientering er fremherskende, omfatter hele det bornholmske grundfjeldsområde og går så langt nordpå som til Ertholmene, men i Skåne og Blekinge er orienteringen for det meste anderledes. Det begravede grundfjeld under Polen synes dog at have samme orientering som det bornholmske (Cymerman 2004). I dybet, helt ned under Moho (grænsen mellem skorpe og kappe) går den samme orientering igen (Balling 2000). Om dannelsen kan man have visse idéer. Figur 10 viser, hvordan sammenpresning kan vippe og folde kontinentale flager og siden rejse dem stejlere og stejlere. Enkelte observationer af overskydninger på Nordbornholm viser, at området vitterlig har været udsat for sammenpresning. Desværre kendes der ikke nogen gennemgående lag af genkendelige sedimentære eller vulkanske bjerg-

ind til lokaliteten, hvis vejen er våd eller der er truende regnbyger i horisonten, da de sidste par kilometer af vejen er dækket af rødt lerstøv, der bliver som brun sæbe, når det bliver vådt. Desuden er det også en fordel at køre i en bil med høj frigang, da vejen flere steder består af to dybe hjulspor.

Sandstenen fremstår lys grålig og består af enheder med storskala krydslejringer i størrelsesordenen omkring 10 meter. Krydslejringerne er fronten af de fossile klitter, og hvert af de tydelige skråtstillede lag repræsenterer, hver gang klitten er vokset ved at et nyt lag sand er blæst ind og er blevet aflejret på klitfronten. Krydslejringerne har varierende orienteringer, hvilket vidner om, at de dominerende vindretninger har skiftet med årstiderne (figur 2). Mellem de tykke enheder af storskala krydslejringer findes enheder, der består af 0,5-1 meter tykke lag af fint horisontalt laminerede interklit aflejringer fra perioder, hvor klimaet har været fugtigere, og hvor der ikke har været aktiv klitdannelse.



Figur 2.
Ved foden af blotningen af Entrada Sandstene kommer man direkte ind i en af de storskala krydslejringer. Krydslejringerne er dannet af vandrende klitfronte under forskellige vindregimer.



Figur 3.
Nær toppen af blotningen kommer man op på et stort plateau af horisontalt laminerede interklitaflejringer, der stammer fra en fugtigere klimatiske periode, hvor klitterne ikke har vandret. På dette plateau er der fundet de forstenede fodspor fra mindst 30 store og små rovdinosaurere og enkelte store planteædende dinosaurere.

DINOSAURFODSPOR FRA ENTRADA SANDSTENEN, UTAH

Jesper Milàn og David B. Loope

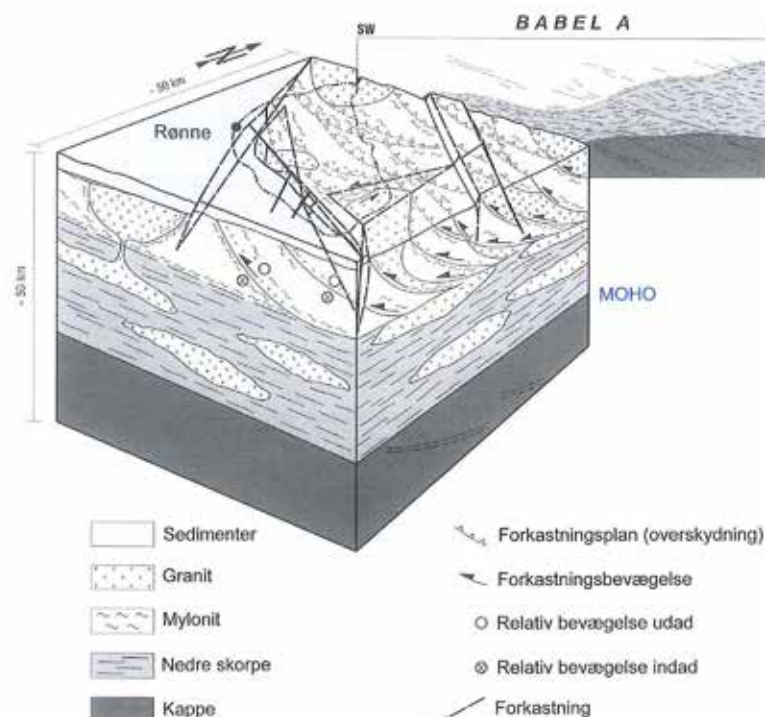
I perioden fra starten til midt i Juratiden, for cirka 210 til 170 millioner år siden, var store dele af, hvad der i dag er de amerikanske stater Utah, Arizona, Colorado og New Mexico, dækket af et gigantisk ørkenområde med vandrende sandklitter. Dette klithav eksisterede gennem millioner af år på vestkysten af det datidige superkontinent Pangæa, og de fossile klitaflejringer derfra vidner om kraftige vindregimer og årstidsbestemte variationer i vindretningen. Aflejringer findes i dag som massive sandstensaflejringer, der hovedsagligt er blottet i Utah og Arizona og er kendt som Navajo Sandstenen, Page Sandstenen og Entrada Sandstenen.

Et særdeles interessant sted at studere Entrada Sandstenen er ved Twentymile Wash lokaliteten, omtrent 40 kilometer syd for den lille by Escalante (figur 1). Lokaliteten findes ved at køre ad hovedvej 12 mod syd ud af Escalante. Hvor hovedvejen slår et skarpt sving, fortsætter man ligeud af en jordvej, Hole in the Rock Road, der fører sydpå parallelt med Straight Cliffs, der er kanten af det massive klippeplateau, Kaiparowits Plateauet. Efter omtrent 30 kilometers rystetur på jordvejen, drejer man ind mod plateauet ad Missing Canyon Road, der fører gennem en dal ind over plateauet. Et par kilometer inde kommer vejen tæt forbi en prominent blotning af Entrada Sandstenen. Det skal her bemærkes, at det absolut ikke kan anbefales at køre



Figur 1.
Lokalitetskort over
Twentymile Wash lokaliteten.
Jordvejene er markeret med
stiplede linier og lokaliteten
er markeret med en stjerne.

arter, der kan give os hjælp til at udrede deformationens regionale aspekter. Alligevel er det en nærliggende fortolkning, at det Bornholmske granitgrundfjeld er resultatet af processer i en pladetektonisk kompressionszone. Cymermans model for Bornholm og tilgrænsende dele af Østersøens undergrund er vist figur 11.



Figur 11.
Cymermans model for opbygningen af Østersø-området omkring Bornholm.
Ballings seismiske profil (Babel A) er også gengivet.

EFTERSKRIFT

En del artikler har indenfor de sidste år nævnt de bornholmske granitter i sammenhæng med andre granitter fra det sydlige Østersø-område. Det fremgår, at over tyve granitforekomster i dette område har alder på ca. 1450 millioner år. Dette er omtrent den samme alder som de bornholmske granitter har ifølge såvel gamle som nye isotopgeologiske målinger. En bjergkædefoldning, den dansk-polske orogenese, er blevet opstillet og eksporteret helt til Litauen på dette grundlag. Isotopgeologiske aldersbestemmelser er overordentlig vigtige, men ikke alle er lige imponeret over resultater, der opnås uden skærende relationer eller andre fundamentale geologiske principper. Ud fra de sidstnævnte i hovedsagen strukturelle metoder når vi frem til, at deformationerne er yngre end granitterne, men hvor meget vides ikke.

BOX

GNEJS OG MIGMATIT

Gnejs udgør hovedparten af det bornholmske grundfjeld. Gnejs er en kvarts-feldspat-bjergart, med lag eller striber. Det, der er mest karakteristisk for bornholmsk gnejs, er de tynde til tider lange striber af mørke mineraler (figur 5). Stribningen skyldes, at de mørke mineraler biotit, hornblende, titanit og malm samler sig i flade og/eller aflange aggregater eller hobe. Rumligt har aggregaterne form som et blad, og det siges da, at gnejsen har foliation eller er folieret. I fald aggregaterne har form som et langt blad så som et siv eller et strå, siges gnejsen at have lineation eller være linieret. Foliationen medfører en vis skifrighed, idet gnejsen spalter parallelt med foliationen, hvilket har sin årsag i en vis ensretning af biotitkrystallerne. Stribningen og krystallernes orientering har forbindelse til dannelsen af gnejsen, som på Bornholm som de fleste andre grundfjeldsområder i verden antages at være sket ved rekrystallisation under deformation og metamorfose. Regionalt stryger gnejsens foliation gennemgående øst-vest og hælder mod nord. Lineationen dykker, hvis den er der, også mod nord. I øvrigt varierer bornholmsk gnejs temmelig meget mellem lyse og mørke, grove og fine varieteter. For fuldstændighedens skyld skal det nævnes, at de bornholmske granitter også er folieret med den samme orientering (skifrighed) som gnejsen (figur 8 og 9)

Migmatit er meget almindelig på Bornholm. Mest kendt er Paradisbakke-granitten, en mørk gnejs med lyse flammer (figur 6). Al bornholmsk gnejs er migmatittisk i forskellige grader. Migmatitter vil typisk være opbygget af to enheder: Mest karakteristisk er de lyse partier bestående af kvarts og feldspat af form som årer, linser eller lag, der kan være foldede. De omgives af en mere eller mindre mørk mellemmasse,

BOX fortsat

der dominerer kvantitativt. Migmatitstrukturen kan give bjergarten en lagdeling eller stribning, der i sig selv vil berettige til at bruge betegnelsen gnejs, men kun Paradisbakke-granitten har stedvis et tilstrækkelig båndet udseende til at kunne kaldes gnejs på dette grundlag. Paradisbakke-granitten har derudover ligesom de øvrige gnejsvarieteter den sædvanlige gnejsiske struktur defineret af de mørke mineralers foliation og lineation (figur 6). (Der er beklageligvis kun få, der har bemærket, at flammerne og den mørke stribning i Paradisbakke-migmatitten såvel som andre bornholmske migmatitter generelt ikke har samme retning. Callisen gjorde. Der knytter sig en særlig forklaring til migmatittens opbygning af forskelligt farvede partier. Den lyse del, som altid er den mindste del, kaldes leukosom (leuko=lys), medens grundsubstanten (den 'normale' gnejs) kaldes mesosom (meso=mellem). Den almindeligt accepterede opfattelse er, at migmatitter er opstået ved delvis smeltning af ældre bjergarter, hvor leukosomet repræsenterer smelte, dråbevis samlet i partier ikke langt fra de enkelte dråbers oprindelsessted, som antages at være mesosomet. Af og til kan det konstateres, at der i kontakten til leukosomet ligger en zone med et overskud af mørke mineraler, et såkaldt melanosom (melano=mørk). Dette underbygger formodningen om, at migmatitstrukturen er opstået ved smeltning, idet eksperimenter med smeltning af silikatbjergarter viser, at smeltningen så godt som udelukkende frigør de kemiske komponenter, der indgår i kvarts og feldspat, men undlader at opløse de mørke mineraler. Den korte fortælling om migmatit er, at det er en bjergart, der indeholder både en magmatisk del, leukosomet, og en metamorf del, mesosom og melanosom.

Det er sandsynligt, at migmatitter skal forstås som ufuldkomne forstadier til dannelsen af større intrusive granitlegemer. Hvis leukosomet kan opsamles i større partier vil disse kunne frigøres og stige op igennem jordskorpen, hvor en lys granit, så som Hammer-granit kan dannes. Hvis smeltningen går langt nok inden leukosomet kan frigøres, vil hele migmatitten kunne mobiliseres og bevæge sig opad i jordskorpen. Sådan kunne Svaneke-granitten være opstået. I begge tilfælde sikres bevægelsen opad af smeltens lave massefylde sammenlignet med de faste bjergarter i omgivelserne.