

Bornholms grundfjelds geologi

En ekskursionsfører

Jørgart, T. 2001: Bornholms Grundfjelds Geologi. En
ekskursionsfører. Publikationer fra Institut for Geografi og
Internationale Udviklingsstudier. Kompendium nr. 111.
Anden udgave, elektronisk form. Roskilde
Universitetscenter.

Indhold

Indhold.....	3
Forord	4
Generel introduktion til Bornholms grundfjeld.....	5
Regionale aspekter.....	5
Resume af de geologiske undersøgelser gennem tiderne	6
Bjergarterne og deres udbredelse	8
Granittyper.....	8
Graniternes oprindelse. Fra Callisen til Micheelsen	9
Anatexis.....	10
Leukogranitiske legemer.....	14
Strukturelle og tektoniske forhold	16
Aldersbestemmelser og kronologi	19
Diabas.....	20
Lokaliteter	22
Knarregård. Gnejs, typisk for området omkring Gudhjem.	22
Rokkestenen, Rutsker Højlyng. Gnejs, typisk for Nordbornholm.	22
Pedersker Plantage. Gnejs, typisk for de mafiske varieteter i syd.....	22
Åvang. Forvitret monolit af Paradisbakke migmatit.	23
Bertelegård/Præstebo, Paradisbakkerne. Paradisbakke-migmatit.	24
Klippeløkke. Rønne-granit.....	25
Maegård. Pyroxen-granit.	26
Ringebakker og Vang havn. Vang-granit.....	26
Sjelle Mose. Kontakt mellem Hammer-granit og Vang-granit.	27
Stejlebjerg. Nedlagt stenbrud i Hammer-granit	29
Bjergebakke. Nedlagt brud i Almindingen-granit.....	29
Katteslets Bakke. Kontakt mellem Hallegård-granit og gnejs.	29
Kysten vest for Listed. Kontakt mellem Svaneke-granit og gnejs.	30
Gule Hald. Diabasgang, der skærer Svaneke-granit.	32
Helligdomsklipperne. Kystklipper med veludviklet regelmæssig forkløftning	33
Løvehovederne og Løvenæs. Kystklipper bestående af breccieret Hammer-granit.	33
Referencer	36

Forord

Denne fører har til formål at tilfredsstille et behov for en professionel beskrivelse af Bornholms grundfjeld og de dele af den bornholmske geologi, der kan belyse vekselvirkningen mellem grundfjeldet og de geologiske processer, der har bidraget til terrænets udvikling indtil i dag. Teksten består af to dele: Først en almen introduktion til det bornholmske grundfjeld, dernæst en beskrivelse af et antal ekskursionslokaliteter. Det omfatter et flertal af de velkendte lokaliteter præsenteret i populær form af VARV (Hansen & Poulsen 1977, Sjørring 1988, Berthelsen 1989). Det er hensigten gradvis at udvide beskrivelserne til at omfatte langt flere lokaliteter med fokus på lokaliteter af videnskabelig og instruktiv karakter. Endemålet er en bedre forståelse og en bedre dokumentation af det bornholmske grundfjelds dannelse og historie. For tiden er mange forhold stadig i det væsentlige ukendte. Lokalitetsbeskrivelserne vil være ujævne, fra nøjagtige og veldokumenterede studier til lokaliteter, der aldrig er besøgt eller genfundet, siden de først blev omtalt.

Et andet formål er at forsyne geografi- og geologistuderende med undervisningsmateriale, der kan udfordre og stimulere adfærden i felten. Der er indlagt et mindre antal opgaver i teksten, især under den del, der omfatter lokalitetsbeskrivelserne. Det er på flere lokaliteter muligt at få instruktiv træning i brug af geologiske principper og metoder og mere af den slags vil blive indført i kommende udgaver. Det bedes bemærket, at principper og metoder med fordel studeres på grundfjeldslokaliteter, der ikke forsvinder så let som kvartære sediment.

Denne fører har forgængere. Den er skåret over samme læst som en ekskursionsfører udarbejdet i forbindelse med en stor ekskursion arrangeret af Gesellschaft für Geowissenschaften e. V. Berlin, oktober 1993 (Jørgart, 1993) og endnu én arrangeret af Det tyske geologiske Forbund i forbindelse med dets

147'nde årsmøde i Greifswald, oktober 1995 (Jørgart, 1995b, 1996). Flere lokaliteter er føjet til siden da. Den eneste substantielle ændring er tilføjelsen af problemstillinger og andre tiltag beregnet på instruktion af geologistuderende.

Selvom Bornholm er et godt sted at tage på geologisk ekskursion, er det ikke et sted, hvor ret mange geologiske lokaliteter kan findes og tolkes uden vejledning. Antallet af geologiske lokaliteter er få og spredte. Ydermere er lokaliteterne ofte i en sørgelig forfatning, tilgroet, vandfyldt eller forurenede. Gode grundfjeldslokaliteter var almindelige i den periode, hvor Karen Callisen arbejdede med Bornholms grundfjeld. Fra den tid stammer nogle af de bedste lokalitetsbeskrivelser. Men lokaliteterne selv er med enkelte undtagelser brudt væk. Senere glemte man, at beskrive lokaliteterne eller publicere lokalitetsbeskrivelserne og lagde uforholdsmæssig vægt på at diskutere modeller uden at referere til troværdige feltobservationer af kritisk betydning for de involverede modeller.

Som grundlag for feltarbejdet anskaffes et topografisk kort i skala 1:50000. En specialudgave bestående af et ark omfattende hele Bornholm og Christiansø kan købes hos boghandlere i Rønne. Det kan anbefales at anskaffe de omtalte Varv-førere. De koster 100 kr og indeholder kort og fotos af stor kvalitet. Teksten er læseværdig, også selvom teksten ligger på et folkeligt niveau. Andre nyere velillustrerede bøger, der handler om Bornholms geologi er af Butzbach (1996) og Gravesen (1996). Små publikationer udgivet af Skov- og Naturstyrelsen i serien "Vandreture i Statsskovene" indeholder ofte gode kort over visse naturskønne arealer. De kan anbefales, de er gratis, og de distribueres af turistkontorer over hele øen.

Forfatteren siger tak til Ingrid Jensen for grafisk og teknisk bistand. Forbedringer til løbende opdaterede udgaver stammer fra diskussioner med studenter og deltagere i forskellige ekskursioner.

Generel introduktion til Bornholms grundfjeld

Regionale aspekter

Grundfjeldet på Bornholm stammer fra Prækambrium. Dette har været kendt længe, idet grundfjeldet overlejres af de ældste palæozoiske bjergarter startende med den Nedre Kambriske Neksø sandsten. Bjergarterne i grundfjeldet består af gnejs og granit skåret af diabasgange, der hovedsagelig stryger N to NE. Grundfjeldet er uden dække af undergrundsbergarter på de nordligste to tredjedele af Bornholm. Grundfjeldet er dog skjult af kvartære aflejringer af varierende tykkelse. Tynde sandstens" gange" i det granitiske grundfjeld anses for fanerozoiske (Ussing 1899, Bruun-Petersen 1975). Diabasgange med orienteringen N til NE anses for prækambriske. Få diabasgange stryger NW og i det mindste én af disse NW-diabasgange må være fanerozoisk (Jensen 1989).

Mange forkastninger skærer Bornholm. De domineres af de samme strygningssætninger som diabasgangene, hvorfor de betragtes som prækambriske og have oprindelse fælles med diabasgangene. Nogle forkastninger er fanerozoiske. NW-strygende forkastninger har sandsynligvis forbindelse til tilsvarende forkastninger i Skåne. Dette forkastningssystem udgør en ca. 100 km bred zone af horste og grave kaldet den Fennoskandiske Rand Zone. Dette system betragtes som dannet i Sen Karbon-Tidlig Perm. (For referencer med særligt henblik på Skåne, se f. eks. Wikman 1986). Den Fennoskandiske Rand Zone er en del af en meget længere tektonisk zone, kaldet Törnquist Zonen, som kan følges fra Skagerak til Sorte Havet (Symposium on Törnquist zone geology 1984). Bornholm selv er en horst, hvis form skyldes de tektoniske aktiviteter i denne zone. Episodisk aktivitet fortsatte i Mesozoikum med

den mest spektakulære begivenhed i Tidlig Tertiær (Vejbæk 1984, 1985).

Grundfjeldet er almindeligvis dækket af Kvartær. Søer, kær, moser, flyvesand, hævede strandaflejringer dækker mindre dele af grundfjeldet. Kun mindre partier langs kysten og i de højeste dele af øen viser blotte grundfjeld. Et mindre antal stenbrud, hvoraf de fleste er ude af drift, udviser blotninger af grundfjeld. Større friske partier af grundfjeld kan iagttages i nogle få store stenbrud, hvor aktiv brydning finder sted.

I syd dykker grundfjeldet ned under en op til flere hundrede meter tyk palæozoisk lagfølge. Karakteren af de underlejrende grundfjeldsbergarter er ikke kendt. Münther (1973) fremsatte nogle betragtninger ud fra magnetiske undersøgelser. Med udgangspunkt i dem fremsatte Berthelsen (1988) nogle højst hypotetiske spekulationer om en dobbeltfold, der skulle være en fortsættelse af den i forvejen tvivlsomme østbornholmske fold (se senere).

De bornholmske graniter udviser et betydeligt fællespræg. Ligheder med bjergarterne på den anden side af Østersøen, Skåne og Blekinge er knap så iøjnefaldende. En regional geologisk forståelse er et oplagt ønskemål. Sammenligninger har indtil videre kun ligget på et ydmygt plan. En forestilling om eksistensen af en Bornholm-Blekinge-provins er på det foreliggende observationsmateriale aldeles ubegrundet. Det er svært at se, hvor et uinspireret gætværk vedrørende den megaskopiske regionale struktur skal føre hen. Den ringe blotningsgrad i hele regionen med deraf følgende mangel på fornuftige nøglelokaliteter er en alvorlig belastning for videre udvikling af den regionale forståelse.

Kontakten til de fanerozoiske bjergarter i syd er delvis forkastningsbestemt. Den sydlige del af Bornholm er sænket i trin langs med fremtrædende forkastninger med strygningen mellem NV og VNV. Gry angiver ét forkastningsmønster (se figur 1), Münther (1957, 1973) et andet. Den mesozoiske lagfølge er endvidere nedforkastet langs forkastninger, der følger kystlinien i vest. Markante terrænskrænter markerer stedvis beliggenheden af forkastningerne i den fanerozoiske del af det

bornholmske landskab. Gravimetrisk undersøgelse (Andersen et al. 1975) peger på vertikale bevægelser større end 1.2 km langs vestkyst-forkastningen.

I SV-kanten af Rønne-granitens udbredelsesområde er bjergarterne omdannet til kaolin in situ. På visse lokaliteter har man tidligere kunne se bjergarternes oprindelige struktur tydelig aftegnet i lermineralernes grå og hvide farvenuancer. Omdannede pegmatitganges steder ses stedvis klart og skarpt.

Resume af de geologiske undersøgelser gennem tiderne

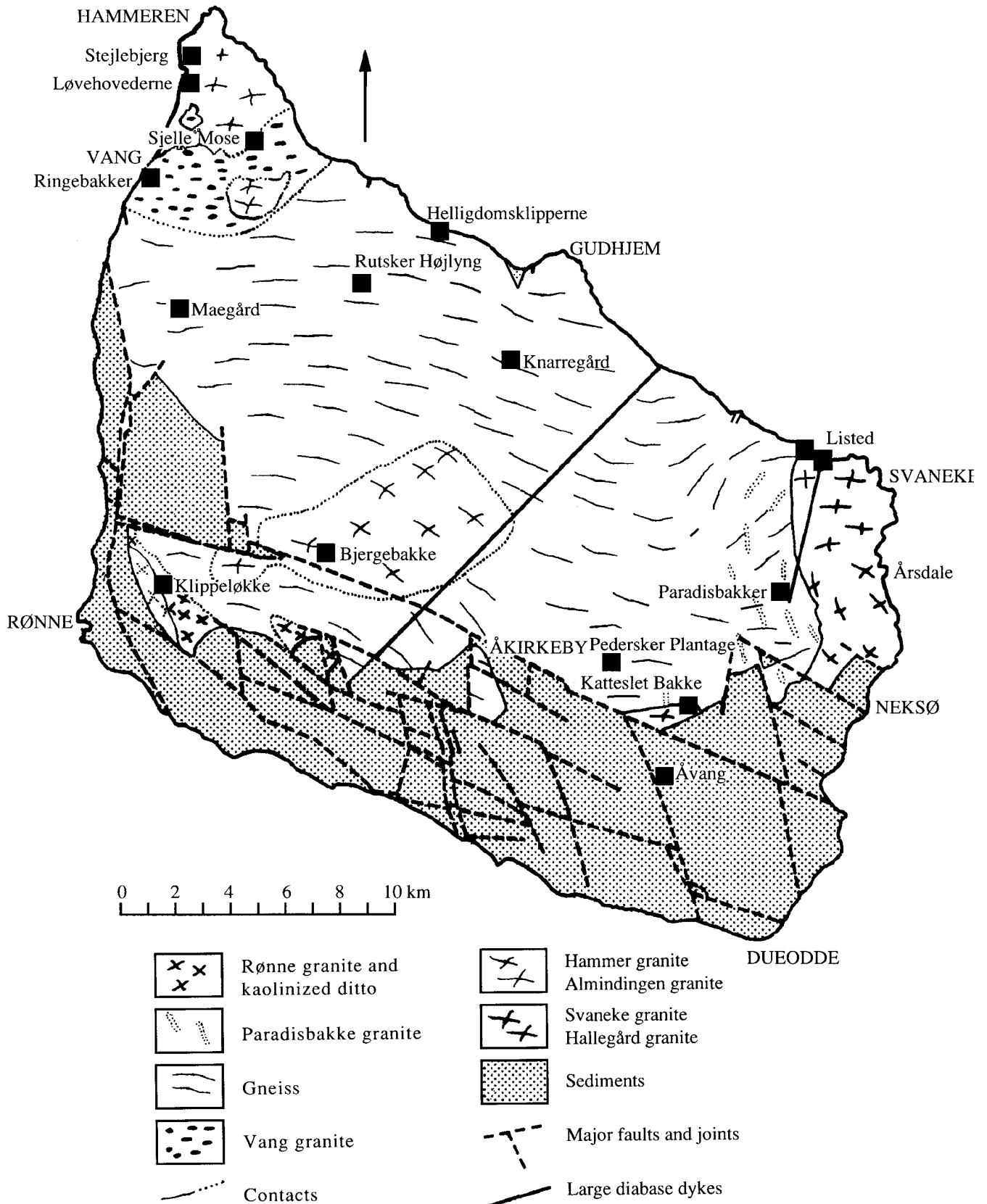
Godt 200 års undersøgelser har fundet sted. Borreby & Küster (1793) var sandsynligvis de første, der beskrev mineraler fra Bornholm. Eftersøgning efter mineralforekomster blev udført af Ørsted og Esmarch (1819, 1820). Bjergarterne som sådan (granit og diabas) blev behandlet for første gang af Cohen & Deecke (1891). Ussing (1899, 1902, 1904, 1910) gav en kortfattet oversigt over bjergarterne. Ussing gav graniterne de lokale navne, der i et vist omfang stadig er i brug. Kalb (1914) undersøgte graniterne petrografisk. De største fremskridt i udforskningen skyldes Karen Callisen i 1930'erne. Hendes disputats var en omfattende og fyldestgørende behandling af graniternes petrografi med mange fremragende beskrivelser, der stadig er læseværdige (Callisen 1932). Senere udvidede Callisen (1934) undersøgelseerne til også at omfatte diabaserne. Samtidig foretog Bubnoff og medarbejdere fra Greifswald detaljerede undersøgelser af med særlig henblik på strukturelle relationer (Bubnoff 1931, 1932, 1938, 1942, Bubnoff & Kaufmann 1933). En magmatisk referenceramme var en selvfølge på denne

tid. Callisen (1956, 1957) undersøgte senere nogle indesluttede bjergarter, som er rester fra tiden forud for granitdannelsen.

Micheelsen (1960, 1961a, b) undersøgte graniterne og forklarede deres oprindelse ud fra en transformistisk (metasomatisk) synsvinkel. Dette indebærer, at de forskellige bornholmske graniter var opstået ved granitisering af ældre bjergarter af anden sammensætning. Dette synspunkt blev overtaget af Noe-Nygaard (1963) i en oversigtsartikel om Danmarks Prækambrium. Jensen (1968) undersøgte malmmineraler i graniterne og fandt, at de varierede på en måde, der kunne forklares med Micheelsens granitisering. Micheelsens hypotese blev kritiseret af Jørgart (1968a, b, se også 1977 og 1982), Hansen (1970) og Rønsbo (1970). Disse forfattere udførte detaljerede studier af Hallegård-granit (Jørgart), Vang- og Hammer-granit (Hansen) og Hammer-granit og dens senere differentiationsprodukter (Rønsbo). Disse undersøgelser pegede på, at anatexis og efterfølgende processer i et delvis smeltet miljø var den rigtige forklaring på dannelsen af granitiske bjergarter på Bornholm. Platou (1970) undersøgte Svaneke-granit, men var uklar om de processer, der havde dannet denne granit. Senere gjorde samme forfatter sig til talsmand for medvirken af metasomatiske processer (Platou 1971, 1972). Jørgart (1973) fastslog, at diagnostisk evidens for bjergartsdannende metasomatose ikke var blevet observeret i nogen bornholmsk granit.

Diabas undersøgt petrologisk af Jensen (1966, 1989) og geomagnetisk af Münther (1945, 1957, 1973), Schønemann (1972), Abrahamsen (1977) og Agger et al. (1986).

Udvalgte studier af forskellige aspekter med relation til Bornholms grundfjeld er af Jensen (1965), Platou (1968), Jørgart (1970) og Sharma (1974).



Figur 1. Udbredelsen af Prækambriske bjergarter på Bornholm. I hovedsagen efter Callisen (1932). Strygning efter Micheelsen (1961b) med undtagelse af et område omkring Paradisbakkerne. Hallegård-granit efter Jørgart 1968b. Grænsen mellem Vang-granit og Hammer-granit efter Hansen (1970) og Rønsbo (1970). Listed-gangen forenklet gengivet efter Schønemann (1972). Forkastninger efter Gry (se Hansen & Poulsen 1977).

Desværre er nyere undersøgelser lidt af en mangelvare. Fornyet interesse for det bornholmske grundfjeld synes dog på vej især blandt tyske geologer. For nylig har Schroeder (1994) redegjort for Bubnoffs ideer om udviklingen af det bornholmske grundfjeld og Bankwitz (1994) undersøgte jointing i grundfjeldet og sedimentbjergarter fra Bornholm. Friis (1996) genundersøgte en sedimentindeslutning fra Rønne-granit, som Callisen tidligere havde behandlet

Bibliografisk note: Callisens (1932) disputats er uændret gengivet i monografien refereret som Callisen (1934). Referencen angivet som Jørgart (1968a, b), som er upubliceret, er i sin helhed gengivet af Jørgart (1982), som stadig kan erhverves.

Bjergarterne og deres udbredelse

Et forsimplet geologisk kort er vist figur 1. Udbredelsen af bjergartstyper er baseret på Callisen (1932). Tilføjelser er ifølge Hansen (1970), Jørgart (1968b), Micheelsen (1961b), Rønsbo (1970), Schønemann (1972), og andre. Palæozoikum, Mesozoikum og forkastninger er i henhold til Gry (Hansen & Poulsen 1977).

I det følgende gives en kort oversigt over bjergarterne og deres oprindelse.

Granittyper

De vigtigste bornholmske granit typer er Rønne-granit, Vang-granit, Svaneke-granit, Hammer-granit, Almindring-granit, Paradisbakke-migmatit, og gnejs. Disse typers identitet stammer fra Callisens (1932) omfattende undersøgelser. De to sidstnævnte navne på listen kaldte Callisen Paradisbakke-granit og sribet granit. Men de to nye navne er blevet populære efter Micheelsens (1961b) arbejde. Med undtagelse af gnejsen er bjergartstyperne veldefinerede og kan med et minimum af øvelse let kendes i håndstykke. De

første fem granitnavne på listen står opført fra melanokratisk til leukokratisk (sammenlign med variationsdiagrammet Figur 4). Andre bornholmske granittyper er blevet vigtige i de seneste årtier. Blandt dem er Maegård-graniten, som fører pyroxen (Micheelsen 1961b), og Hallegård-graniten, der ligner Svaneke-graniten (Bubnoff & Kaufmann 1933, Callisen 1934, Jørgart 1968a, b). Leukogranit (der omfatter bjergarter fra aplit til pegmatit; introduceret af Micheelsen 1961a) findes i underordnet mængde i alle hovedtyper. Indeslutninger (enklaver) af andre bjergartstyper særlig kvartsit og glimmerrige bjergarter kan findes i alle graniter.

De bornholmske granittyper er opbygget af et begrænset sæt af primære mineraler, som de indeholder i varierende mængder: kvarts, plagioklas, mikroklin, biotit, hornblende, titanit(sphene), ilmenit, magnetit, apatit, zirkon, og allanit. Disse mineralers egenskaber er temmelig ens i alle granittyper. Hornblendens er særlig bemærkelsesværdig i denne henseende på grund af dens almindeligvis komplicerede sammensætning. Bedømt ud fra optiske studier tilnærmer hornblende i alle granittyper det, der i gamle dage hed en ferro-hastingsitisk sammensætning (Callisen 1932, Jørgart 1968b). I dag benyttes en ændret nomenklatur, og betegnelsen hastingsit vil være passende (Deer et al. 1992). Afvigelser fra mineralogisk ensartethed af granitterne findes, men karakteren af denne variation kendes ikke særlig godt. Primær epidot, som kun findes i granitterne på Østbornholm, er et eksempel. Bjergarternes struktur udviser også anseelig ensartethed. Karakteristisk er de mørke mineralers forekomstmåde, idet biotit, hornblende, titanit og malmmineraler findes aggregeret i mere eller mindre koncentrerede mafiske hobe.

Variationen af granitterne er lille, men prominent. I den leukokratiske ende af skalaen findes graniter næsten uden mørke mineraler. I den melanokratiske ende har de mest ekstreme graniter sammensætninger tæt ved granodiorit (Streckeisen 1976). Granittyperne beskrives mere detaljeret i forbindelse med lokalitetsbeskrivelserne. Typiske modalanalyser og kemiske analyser af hovedtyperne er samlet af Noe-Nygaard (1963). Flere analyser kan

findes i Excel-regnearket BORNHOLM.XLS (Jørgart 1999).

Hovedparten af de bornholmske graniter er sribede. Stribningen er et visuelt udtryk for fladtrykning og forlængning af de mafiske hobe, hvilket giver bjergarterne foliation og lineation. En omtrent øst-vest strygende foliation, der dykker mod nord er karakteristisk for hovedparten af grundfjeldsenhederne. Foliationen er til tider afløst af, til tider suppleret af en lineation, der dykker mod nord. Bjergarter med iøjnefaldende stribning vil blive kaldt gnejs, hvilket betyder, at hovedparten af grundfjeldet må betegnes gnejs. Indenfor gnejsområdet findes partier, der ligner gnejsen, men alligevel er uden stribning. Disse områder er for små eller dårlig kendte til at muliggøre opstilling som separate enheder, hvorfor de på kortet angives som gnejs. De kendte gnejstyper kan i øvrigt karakteriseres på grundlag af deres karakter på en skala mellem melanokratisk og leukokratisk. Begge typer såvel som intermediær gnejs findes. De mafisk typer er plagioklasporfyriske med en ekstremt finkornet matrix, tydeligvis en "quench struktur". De leukokratiske typer er almindeligvis mellemkornede. Al gnejs er migmatitisk, leukosom-andelen udgør gerne mellem 5 og 20 %.

Graniternes oprindelse. Fra Callisen til Micheelsen

Callisen (1932) og hendes forgængere forestillede sig et gigantisk magmakammer, der opfattede omtrent hele Bornholm. De marginale enheder Rønne-granit, Vang-granit og Paradisbakke-granit blev anset for udskilt ved væskeafblanding (liquid immiscibility). Callisen observerede, at disse marginale enheder blev skåret af Hammer- og Svaneke-granit, som derfor måtte være yngre. Callisen (1932) og de fleste før hende forestillede sig, at gnejsens stribning var en flydestruktur, der var dannet i forbindelse med magmaets bevægelse i et magma kammer.

Micheelsen (1961b) anså det granitiske grundfjeld for en pakke bjergarter, der oprindelig

var afsat i en geosynklinal. Geosynklinalens bund blev markeret af de to mafiske granitenheder i syd nemlig Rønne-granit og Paradisbakke-granit. Retningen mod nord angiver opad i geosynklinalen. Her aflejredes det materiale, der senere blev til gnejs og ovenover Vang- og Hammer-granit, som udgjorde toppen i lagpakken. Ifølge Micheelsen (1961b) blev pakken af bjergarter først foldet og metamorfoseret i granulitfacies (Rønne-stadiet) og senere granitiseret i amfibolitfacies (Hammer-stadiet).

Opfattelsen af det bornholmske grundfjeld som et snit igennem en geosynklinal var et stimulerende lokalt bidrag, der gik parallelt med den internationale udviklingen i forståelsen af kontinenters og graniters dannelse, som var karakteristisk for den tid. Men opfattelsen er ikke nem at underbygge. Uheldigvis er ikke en eneste mærkehorisont, der kan tjene som et formodet lag i denne geosynklinale lagpakke, blevet påvist. Metamorfe facies, der kan tolkes i retning af højt tryk i bunden af den formodede lagpakke, eksisterer ikke. Tilstedeværelse af coeksisterende plagioklas, hypersthen og diopsidisk augit i Rønne-granit, Maegård-granit eller andre bjergarter ville dokumentere granulitfacies, men mineralselskabet er ikke tilstrækkeligt til at fastslå højt tryk (Winkler 1976). I tilgift er eksistensen af hypersthen ikke overbevisende demonstreret, hverken i Rønne-granit (Callisen 1957) eller Maegård-granit (se under lokalitetsbeskrivelsen). Nærmere undersøgelser bør foretages, før yderligere slutninger om mulige metamorfe facies drages.

Pyroxenkorn, der findes som kerner i hornblendekrystaller i Maegård-granit og nogle enkelte prøver af Rønne-granit, blev af Micheelsen (1961b) brugt til at påstå, at de mafiske hobe, der er så karakteristiske i alle bornholmske graniter, alle var dannet med udgangspunkt i primær pyroxen. Det er imidlertid ganske uforståeligt, hvordan en simpel diopsidisk pyroxen skulle kunne forvandles til den væsentlig mere komplicerede sammensætning af de mafiske hobe, der blandt andet indeholder to mineraler, der i sig selv har en kompliceret kemi.

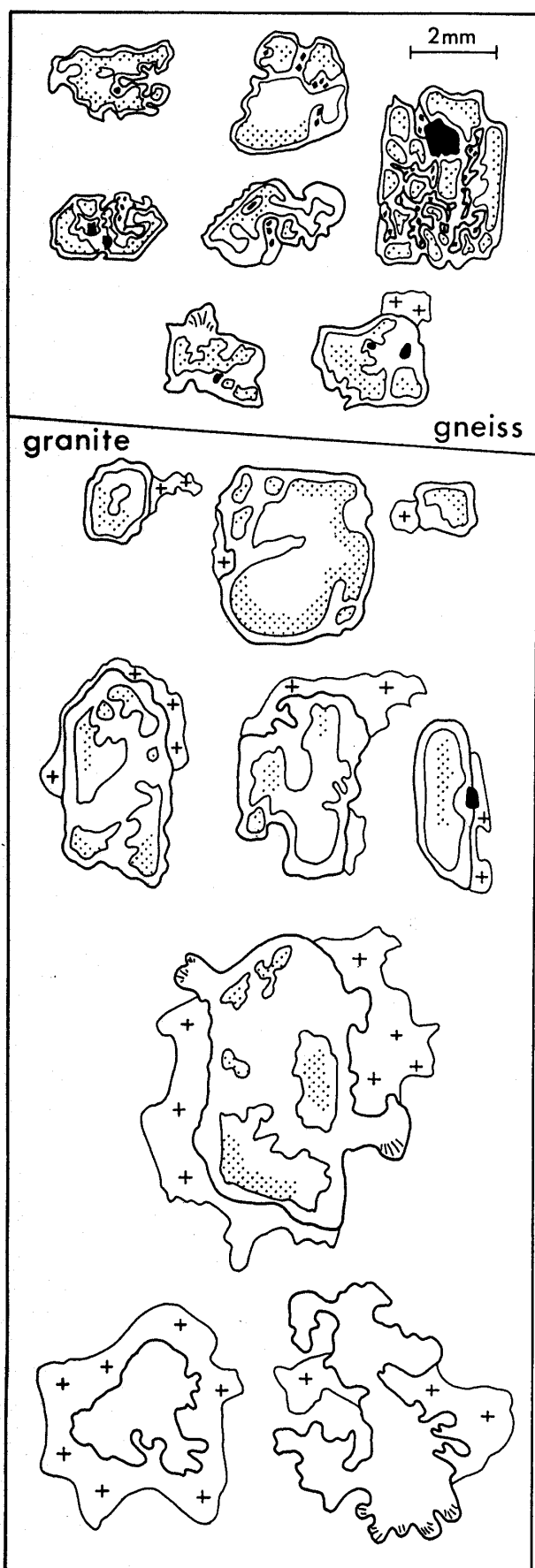
I følge Micheelsen (1961b) dannedes graniterne (bortset fra Svaneke-granit) ved, at geosynklinalens udgangsmaterialer skiftede sammensætning ved tilførsel af leukogranitisk materiale ved metasomatose. Micheelsen har ikke forklaret, hvorfor det skulle være nødvendigt at bringe netop denne proces i forslag til dannelsen af de bornholmske graniter. Forståeligheden blev yderligere forringet af, at Micheelsen ikke gjorde forsøg på at opstille en model med fysisk realiserbare elementer. Jørgart (1973) forsøgte at bedømme i hvilken udstrækning metasomatose havde medvirket til dannelsen af graniterne. To konsekvenser af metasomatose er kendt: 1) der vil opstå en zonal fordeling af nydannede bjergarter i det bjergartslegeme, der har været udsat for processen, og 2) der vil ske en reduktion af antallet af faser i de enkelte zoner (Korzhinskii 1968, 1970, Hofmann 1972). Intet af den slags er iagttaget på Bornholm.

Anatexis

Anatexis blev første gang foreslået af Jørgart (1968a) som forklaring på dannelsen af Hallegård-granit. I en særlig undersøgelse med fokus på feldspat i denne granit og dens tilgrænsende gnejs, gjorde han gældende, at plagioklasens uregelmæssige zonaritet (patchy zoning) var betydningsfuld. Vance (1965) definerede og beskrev uregelmæssig zonaritet. I sin enkleste form består zonar plagioklas af to zoner med klart forskellige anorthitindhold og en veldefineret oftest stærkt uregelmæssig grænse imellem. Vance påviste, at kun resorption og rekrySTALLISATION kunne forklare strukturen. Vance selv udelukkede ganske vist eksplicit anatexis som forklaring på zonariteten

på baggrund af det ejendommelige argument, at stigende temperaturer ikke var normale i naturen. Imidlertid havde Mehnert (1962) foreslået anatexis som forklaring på tilsvarende plagioklasstrukturer. Den regionale fordeling af uregelmæssig zonaritet i et km-langt profil på tværs af gnejs/granit kontakten ved Hallegård viser, at kalciske (anorthitrige) kerner i plagioklasen er store i gnejsen længst mod nord, medens de er små eller fraværende i graniten længst mod syd. Langs med profilet ændrer størrelsen af kernerne sig gradvist (figur 2). I betragtning af, at granit og gnejs har forholdvis ens sammensætninger, er anatexis en nærliggende forklaring, idet forskellige grader af partiel smeltning kan anses for ansvarlig for zonaritetens regionale variation. Mængden af mikroklin, der fandtes omvokset plagioklaskornene helt eller delvist, udviste også en regelmæssig variation, der måtte betyde, at også denne variation monitorerede graden af opsmeltning (figur 2). En model af smeltefordelingen langs med et hypotetisk profil ses Figur 3.

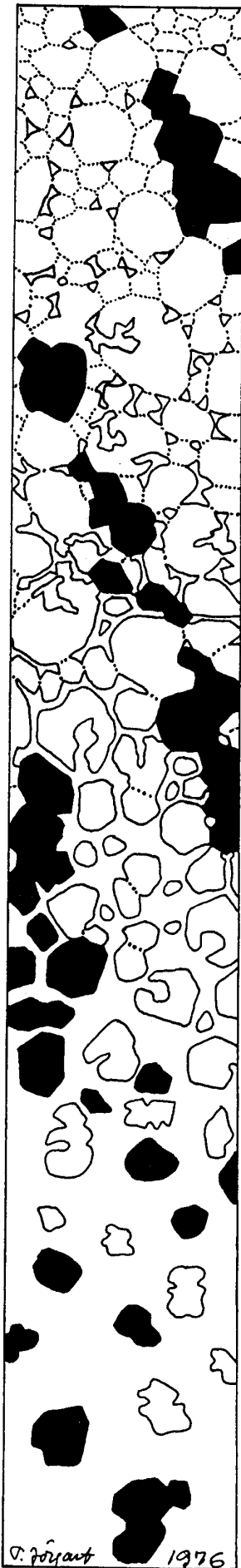
Næsten alle andre bornholmske graniter fører uregelmæssigt zonar plagioklas. Callisen (1932) beskrev strukturen i Rønne-granit og i Paradisbakke-migmatitens melanosom. Med Becke (1892) som udgangspunkt forklarede hun zonariteten ved magmatisk resorption af plagioklaskrystallerne. Jørgart (1968b, 1977) gjorde gældende, at uregelmæssig zonar plagioklas er vidnesbyrd om anatexis overalt, hvor det måtte forekomme i det granitiske grundfjeld på Bornholm. Taget bogstaveligt betyder det, at udover Hallegård-granit har mange andre graniter en anatektisk oprindelse. Det gælder Rønne-granit, Vang-granit, Svaneke-granit, Paradisbakke-migmatit og det meste gnejs.



Figur 2. Strørkorn af plagioklas og sammensat feldspat fra Hallegård området anbragt nogenlunde i samme relative placering som deres findesteder. Fra top til bund er repræsenteret et ca. 1 km langt profil. Den vandrette skala refererer til strørkornenes størrelser. Strørkornene udviser en iøjnefaldende zonaritet. Følgende zoner er repræsenteret: kalciske (anorthittrige) plagioklaskerner (delvis prikket), albitrige randzoner i plagioklasen og mikroklinkapper (krydser). Mikroklin er tilvokset plagioklasen i parallel krystallografisk orientering. Indeslutninger er vist sorte. Myrmekit vises som en vifteformet udvækst i kanten af plagioklasen. Den regionale variation er på én gang meget udpræget og dog gradvis.

Gennemførligheden af at tilvejebringe migmatiter og graniter ved anatexis er blevet overbevisende dokumenteret ved eksperimentelt arbejde i 1960'erne (Winkler 1967, 1976, Brown & Fyfe 1970, mange andre). Disse eksperimenter viste, at partiel smeltning af almindelige bjergarter foregår allerede ved moderate temperaturer. Som følge af denne erkendelse er interessen for andre petrogenetiske forklaringer, der undgår opsmeltning, mærkbart reduceret. En sådan forklaring vil i dag kun påkalde sig opmærksomhed, hvis der er specifikke grunde til at antage, at smeltning **ikke** kan have fundet sted.

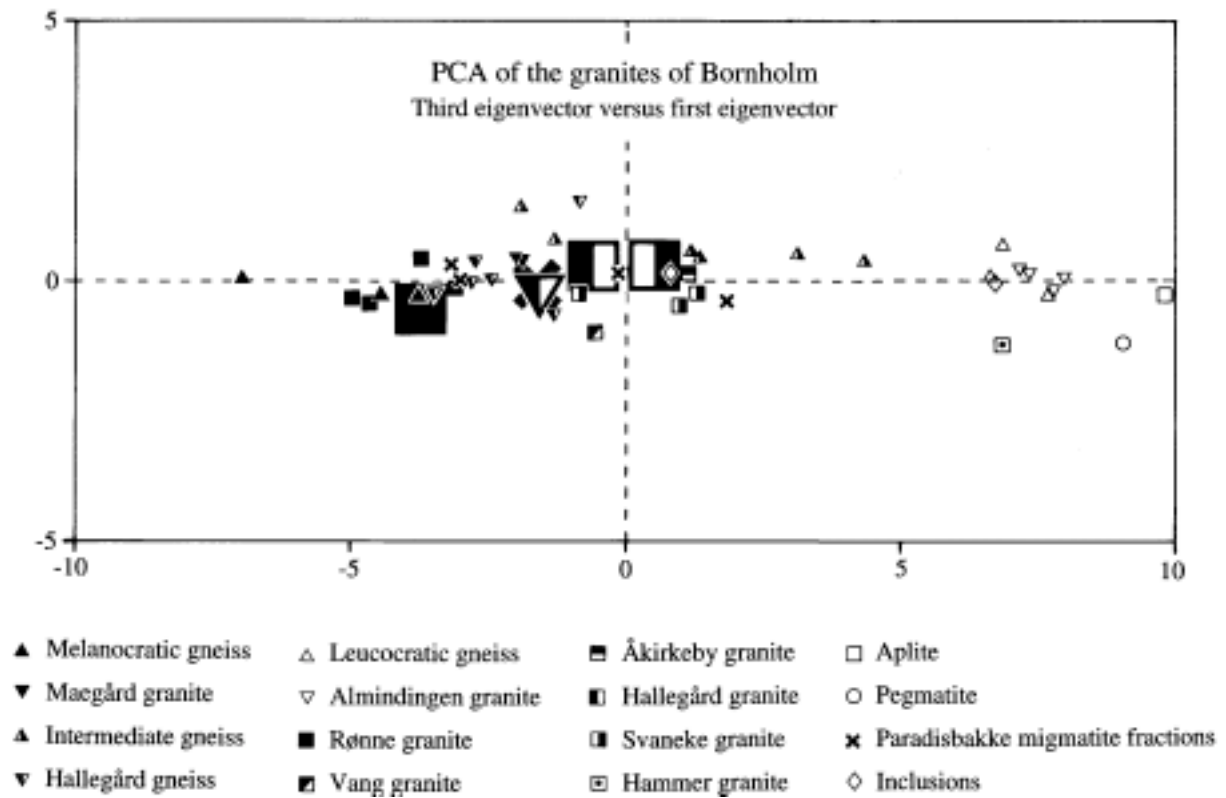
I begyndelsen af et opsmeltningsforløb, hvor andelen af smelte er beskeden, lad os sige under 20 til 30 %, har smelten en forholdsvis konstant leukogranitisk sammensætning, fordi smelten stedse vil være i ligevægt med alle hovedmineraller. Hvis noget af smelten kan frigøre sig fra de små mellemrum mellem kornene og samle sig i større partier lokalt, kan en leukogranitisk åre eller lomme dannes og en basisk restitbjergart ligge tilbage. Almindelige migmatiter med leukosom, der tilnærmer en mulig smeltesammensætning, kan uden omsvøb forklares ved anatexis også selv om den nøjagtige dannelsesmekanisme kan debatteres (Atherton & Gribble 1983, Ashworth 1985, Maaløe 1992, se referencer i disse værker). Leukogranitisk materiale, som ofte mødes langs graniters kontaktzoner, kan tænkes at have en beslægtet oprindelse.



Figur 3. Hypotetisk profil fra Hallegård-området på tidspunktet for maksimal smeltning. Profilet strækker sig fra gnejs (top, N) til granit (bund, S). Figuren er skematisk og sammenfatter forholdet mellem faserne i et 1 km langt profil sammenfaldende med figur 2. Kun tre "faser" er repræsenteret: "mafiske mineraler" (sort), "felsiske mineraler" (hvid) og smelte (dråber og sammenhængende matrix mellem kornene). Modellen viser, hvorledes mængden af smelte gradvis stiger nedefter, hvilket er den direkte årsag til forskellen i krystallinsk endeprodukt: gnejs i nord, granit i syd. Overgangen mellem gnejs og granit tænkes at ligge i nærheden af det niveau, hvor smelteandelen er blevet så stor, at sammenhængen mellem mineralkornene brydes ved det aktuelle stressniveau. Herved gør modellen rede for både kontinuerede og skarpe aspekter ved overgangen mellem gnejs og granit.

Betragt en model, hvor en enkelt udgangsbjergart af intermediær sammensætning smelter partielt, hvorefter varierende mængder smelte forlader moderbjergarten og medtager varierende andele af suspenderede mineraler (fraktioneret opsmeltning). Dette vil frembringe en spredning af sammensætninger, der fordeler sig i én dimension langs en ret linie. Foregår den fraktionerede opsmeltning og transporten af smeltemasserne i stor skala, vil dette føre til en 1-dimensional regional variation.

Sammensætningsvariationen af de bornholmske graniter er faktisk med god tilnærmelse 1-dimensional (Figur 4). De mest ekstreme bjergarter i den leukokratiske ende (aplit og pegmatit) har en sammensætning, der let kan forstås som en minimumsmelte-sammensætning (Jørgart 1979). (Beklageligvis kendes kun få analyser). I den basiske ende kan nogle af de mørke graniter og gnejser opfattes som restitbjergarter.



Figur 4. Variationsdiagram for de bornholmske graniter baseret på hovedkomponentanalyse (principal component analyse, PCA) af hovedelementer i 72 prøver. Tredje egenvektor er afsat mod første egenvektor. Første, anden og tredje egenvektor repræsenterer henholdsvis 90.2, 6.6, og 1.5 % af variationen. I betragtning af, at den anden egenvektor repræsenterer sekundær oxidation (Jørgart 1979), betyder det, at variationen langs med første akse er totalt dominerende. Store symboler repræsenterer 4 eller flere næsten overlappende prøver. Gnejsprøverne udviser stor spredning, mens nogle af granitterne er bemærkelsesværdigt veldefinerede i kemisk henseende. Svaneke-granit og Hallegård-granit synes at være forskellige, ikke meget men dog utvetydigt. Hammer-granit og Alminding-granit er næppe identiske. Ingen af dem når ud til den leukogranitiske grænse defineret af aplit og pegmatit. Hvis disse to prøver anses for at repræsentere rene smeltesammensætninger, kan hele variationen langs første akse forklares ved en differentiationsproces, der omfordeler smelte i granitgrundfjeldet. Granitterne til højre i diagrammet bærer præg af at have tilegnet sig et overskud af smelte under deres dannelse, mens prøverne til venstre har mistet smelte. Spredningen af Paradisbakke-migmatit fraktionerne langs første akse afspejler forskellig opsmeltningsgrad af migmatit-prøverne, men variationen er helt bevidst overdrevet ved prøvetagning, idet både bjergartsfraktioner beriget på leukokratiske årer (flammer, leukosom), henholdsvis melanokratiske matrix (mesosom og melanosom) er inkluderet. På denne måde kan det sandsynliggøres og tydeliggøres, at leukosomet i Paradisbakke-migmatiten har en sammensætning som aplit og pegmatit. (Bemærk det store kors gemt delvis bag det store Hallegård-gnejs symbol).

Til anatexis' fortjenester hører også en mulig forklaring på de granulitfaciesbetingelser, der afspejles gennem tilstedeværelse af pyroxen i nogle af bjergarterne. Pyroxenen er i følge denne forklaring et restitmineral efterladt af den udpressede smelte, som inden den forlod sit kildeområde var i stand til at opsamle alt vand i miljøet. Denne forklaring blev fremsat af Jørgart (1968b) efter inspiration fra Ramberg (1951). Nyere arbejde (Powell 1983, Newton 1986, flere andre) anser det for sandsynligt, at granulitfaciesbjergarter er et refraktivt residual efterladt af en afgivet granitisk smelte. Emnet debatteres imidlertid livligt, se f. eks. artikler i Atherton & Gribble (1983).

Det skal afslutningsvis pointeres, at anatexismodellen kun hviler på et begrænset antal nye oplysninger. De observationer og beregninger, Micheelsen benyttede sig af som grundlag for sin transformistiske/metasomatiske model, er også grundlag for anatexismodellen. I Micheelsens model tilføres mafiske bjergarter varierende mængder leukogranitisk materiale, hvorved de kendte bornholmske granittyper dannes som blandinger. Anatexismodellen er et spejlbillede heraf. I stedet for blanding benyttes differentiation med udgangspunkt i en intermediær sammensætning såsom gnejs, idet udpresning af varierende mængder smelte giver anledning til hele spektret af bornholmske granitvarieteter. Anatexismodellen økonomiserer noget mere med de mængdemængder, der skal transporteres rundt i det bornholmske grundfjeld, og i visse tilfælde (Hallegård-granit, Svaneke-granit) er ren anatexis uden materialetransport tilstrækkelig forklaring. Den leukogranitiske sammensætning kan siges at være "operatorsammensætning" i begge modeller. Erkendelsen af, at denne sammensætning er en mulig minimumssmeltesammensætning, er i sig selv en vigtig grund til at vælge anatexis fremfor metasomatose.

Andre forhold vedrørende de bornholmske graniter kan formodes at have relation til anatexis. Malmmineralernes variation som beskrevet af Jensen (1968) anså han selv for forbundet med granitisering i Micheelsens

forstand, men den kan lige så godt forklares med anatexis.

Leukogranitiske legemer

Betegnelsen leukogranit blev indført af Micheelsen (1960, 1961a, b). Betegnelsen omfatter aplit og pegmatit, men på Bornholm er mange leukograniter mellemkornede. Leukograniter forekommer altid i mindre legemer af begrænset udstrækning: gange, årer og lommer. Forud for Micheelsen behandlede Bubnoff og Callisen også leukogranitiske legemer, fordi disse legemer er og var de største strukturer, der kunne observeres i blotningerne. Små leukogranitiske legemer er almindelige mange steder indenfor gnejsområdet. I tilfælde af at gnejsen er migmatitisk, vil de leukogranitiske legemer udgøre leukosomet, medens matrix kan betegnes mesosom. Hvis en "basisk front" er til stede, kaldes den melanosom. Migmatiters klassifikation er behandlet af Mehnert (1968).

Micheelsen skelnede mellem tre hovedtyper af leukogranitiske legemer. 1) legemer dannet ved dilatation, 2) legemer dannet ved selektiv replacering, og 3) legemer dannet ved total replacering (figur 5). Nærværende forfatter foretrækker den følgende reinterpretation: 1) postkinematiske legemer, 2) synkinematiske legemer, og 3) prækinematiske legemer. Kun den tredje reformulering medfører en ændring i den kronologiske forståelse af leukogranitiske legemers dannelse. I følge Micheelsen, skærer og replacerer leukogranitterne en ældre stribning, der findes bevaret som en spøgelsesstribning. Nærværende forfatter betragter stribningen som påtrykt senere, muligvis efter den afsluttende størkning. I følge Micheelsen er denne ældre stribning dannet ved deformation under Rønne-stadiet, hvorved nytolkningen får implikationer for forståelsen af grundfjeldets regionale kronologi. I almindelighed synes det som om den regionale stribning på tilsvarende vis skærer igennem alle granitiske grundfjeldsenheder (se senere). Udfra det samme ræsonnement betyder det, at

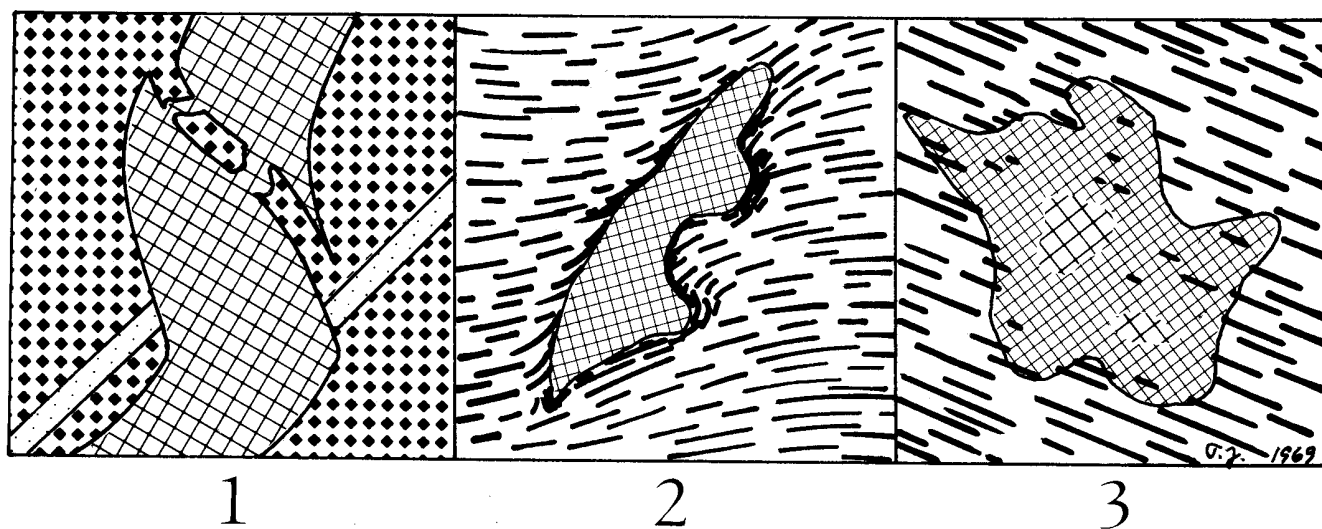
deformationen af det bornholmske grundfjeld i første tilnærmelse må opfattes som senere end den endelige størkning af de granitiske smelter, se næste sektion.

I følge Micheelsen er de leukogranitiske legemer vidnesbyrd om metasomatisk transport af leukogranitisk materiale tilført under granitisering i en bestemt tidsperiode (Hammerstadiet). Micheelsens synspunkt er at alle leukogranitiske sammensætninger står i forbindelse med dannelsen af den leukokratiske Hammer-granit (som også omfatter Almindingsgraniten). Jørgart (1968a, b) anså leukograniter som forhenstående småpartier af partiel smelte dannet ved anatexis og presset ud fra bjergarterne i omgivelserne. Han anså det endvidere for muligt, at én enkelt storstilet opsmeltningssproces var ansvarlig for dannelsen af alle leukogranitiske legemer på Bornholm, og var på dette punkt i overensstemmelse med Micheelsen. Rønsbo (1970) gjorde dog

gældende, at flere generationer af leukogranitiske bjergarter fandtes i Hammergranitens omgivelser, men ikke alle havde relation til Hammer-granitens afsluttende krystallisationsforløb (se videre under lokalitet Klippeløkke).

Dilatationslegemerne (type 1) er hyppigst i mafiske og intermediære graniter. I Vang-granit er disse legemer hyppigt aplitiske. I Rønne-granit er zonare pegmatitlegemer talrige. De andre legemer (type 2 og 3) forekommer mest almindeligt i gnejs.

Leukogranitiske zoner udvikles jævnligt langs granitiske kontakter. Særlige stressforhold nær kontakter må forklare, hvorfor leukogranitiske smelter samler sig her. Visse observationer kan tolkes som migmatitisk kontaktbrecciering.



Figur 5. Typer af leukogranitiske legemer delvis efter Micheelsen (1960, 1961a). 1. Postkinematisk legeme dannet ved dilatation. 2. Synkinematisk legeme. Leukosom, melanosom og mesosom ses. 3. Prækinematisk legeme. Melanosom ses næsten ikke. Hvis et melanosom har været dannet på et tidligere tidspunkt, har rekrySTALLISATION under den efterfølgende deformationsfase udslettet det igen.

Strukturelle og tektoniske forhold

Kun få betragtninger skal fremføres. Hovedpunktet er, at ingen sammenhængende og troværdig analyse eksisterer. Det mest ambitiøse forsøg skelner imellem tre tektoniske faser, men uden nogen information om de kriterier, der er benyttet til at opstille dem (Platou 1970).

Det mest iøjnefaldende strukturelle element i blotningerne er små folder. Differentierbare foldede enheder ses kun sjældent: Bubnoff (1942) beskrev og tegnede et antal foldede pegmatitgange. En tæt foldet båndet sekvens af finkornede bjergarter ("leptiter") umiddelbart vest for kontakten mellem Svaneke-granit og gnejs i kystklipperne vest for Listed (herefter kaldt Listed kontakt lokaliteten) er fundet og beskrevet af Micheelsen (1961b). Foldede lag med målte foldeakser fra dette område og området umiddelbart vest herfor er kortlagt af Platou (1970, fig. 3, gentegnet her som figur 12). En foldet kvartsår i Vang-granit blev beskrevet af Hansen (1970). Foldede leukogranitgange findes i Knarregård brud. Regionalt foldede lag er ikke observeret.

Micheelsen (1961b) mente, at foldningen foregik i Rønne-stadiet, og at foldningen skabte gnejsens foliation og lineation. Til dels baseret på de foldede leptiter fra Listed kontakt lokaliteten kunne Micheelsen vise, at orienteringen af foliation og lineation repræsenterede henholdsvis aksialplan og foldeakse.

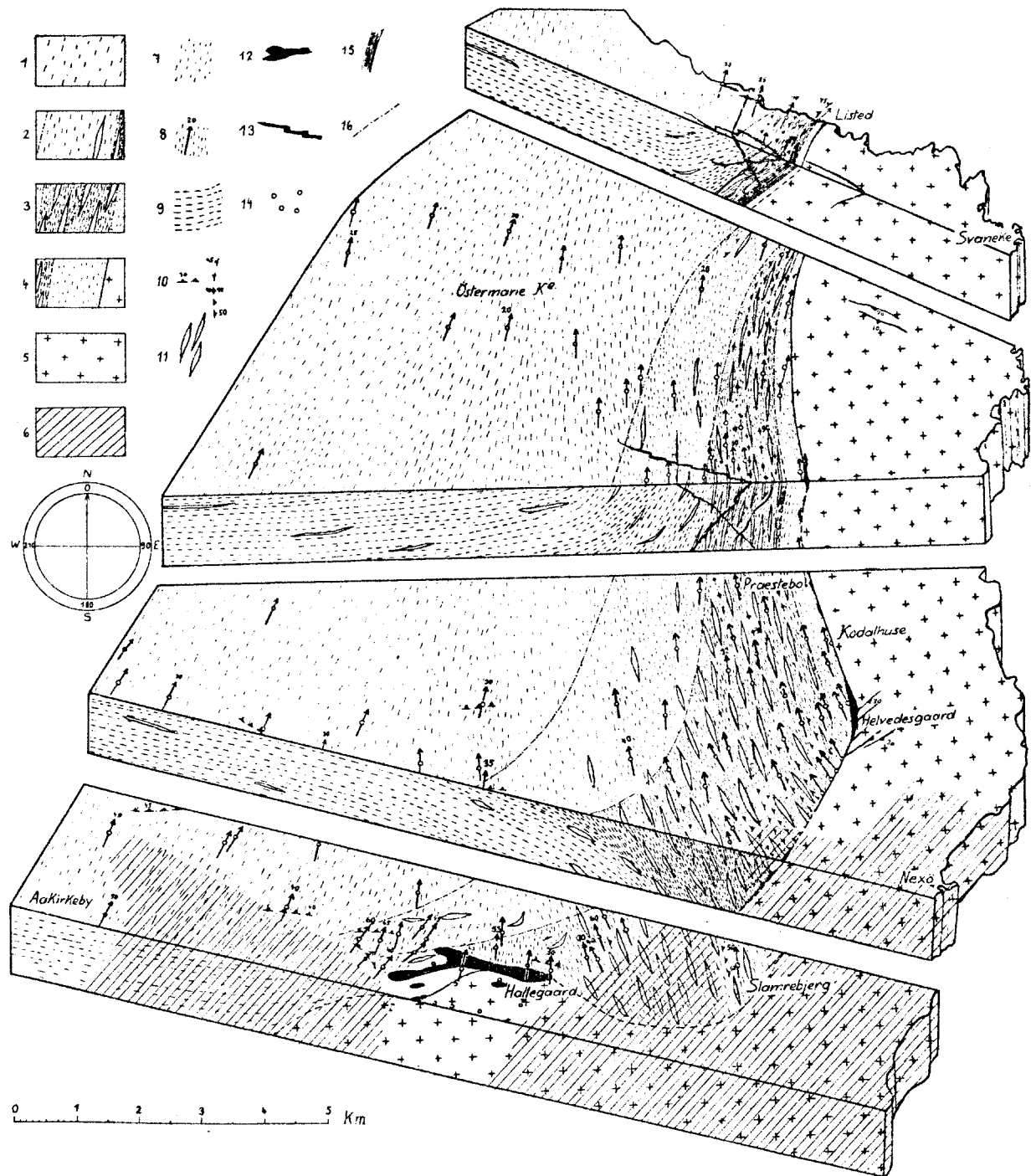
Spørgelsesfolder defineret af sribning og leucosom-ansamlinger er jævnlige iagttaget (Micheelsen 1961a,b, Platou 1970, Berthelsen 1989, p. 25). Regionale foldestrukturer stykket sammen ud fra spredte observationer af strygning og hældning af striber eller leucosom er blevet bragt frem i debatten. Den mest stigmatiserende struktur af denne karakter er den østbornholmske fold. Den blev fundet af Kaufmann (Bubnoff et al. 1933), underbygget og tydeliggjort af Micheelsen (1961b), forkastet af Platou (1970) og dobbeltfoldet af Berthelsen

(1989). Som vist herunder er evidensen for denne fold utilfredsstillende eller snarere fuldstændig fraværende.

De bornholmske gnejser har som regel både foliation og lineation, der primært er defineret af orienteringen af de mafiske hobe (aggregater). Hobene selv er i et vist omfang opbygget af orienterede biotitkorn, som kan forklare den svage tilbøjelighed for kløvning parallelt med de mafiske hobes plan. Kun få systematiske målinger af strygning og hældning i felten er udført. Foliation og lineation er kun undtagelsesvist blevet målt på de samme lokaliteter. Et kort over Østbornholm, der angiver sådanne målinger, blev fremstillet af Kaufmann (Bubnoff & Kaufmann 1933). Dette kort er gengivet som figur 6.

Det er ikke nemt at kombinere de på Kaufmanns kort viste målinger af strygning, hældning og dyk på en konsistent måde. Nærværende forfatter kan slet ikke se, hvorledes kortet kan underbygge en stor fold uden at forbyde sig mod topologiske grundregler. Forsøg på at tilpasse sammenhængende flader tangentielt til foliationen fører til modstrid. Den foreløbige udgang på dette kunne være, at sådanne flader skal man ikke forestille sig. Hvis f. eks. de orienterede hobe kun afspejler lokale stressforhold, er det formentlig ikke nødvendigt at forestille sig, at de skal ligge fordelt langs glatte flader. Men hvis sådanne flader ikke kan defineres og derfor ikke kan tegnes, er det svært at se realiteterne i de påståede folder.

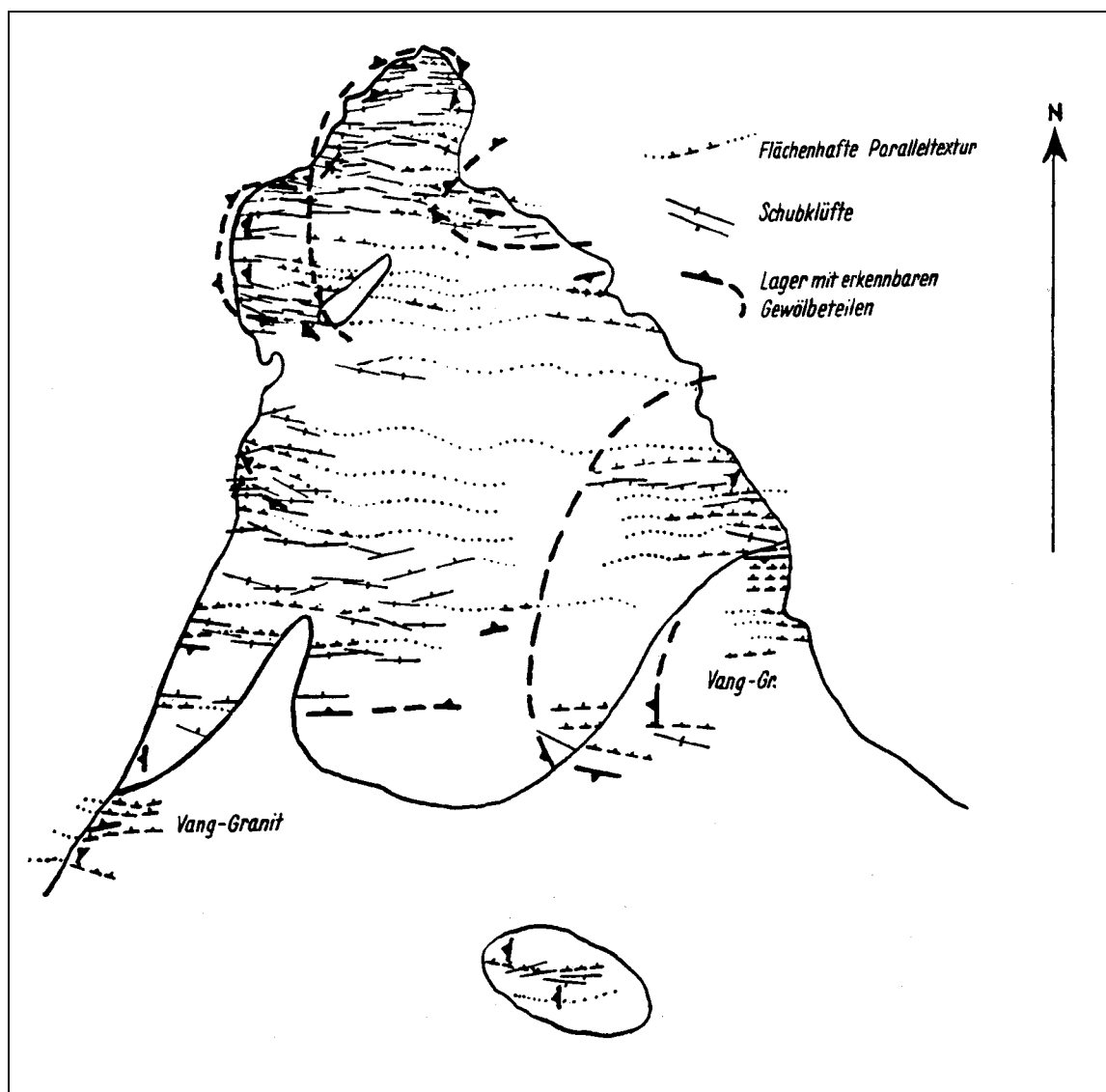
Micheelsens modifikation af Kaufmanns fold har ikke de samme problemer med konsistensen, (Micheelsen 1961b, specielt fig. 22). Micheelsen bestemte fortsættelsen af folden ved at måle strygning og hældning på foliationen i gnejsindeslutninger i Svaneke-granit. men antallet af målingerne er lavt, og kun ganske få af dem er afvigende fra den sædvanlige øst-vestlige strygning og nordlige hældning. Endvidere giver Micheelsen ikke mange detaljer om disse målinger, hvilket må beklages på grund af betydningen af de udledte aldersforhold. I følge Micheelsen er den østbornholmske fold dannet under Hammer-stadiet. Stadig, i følge



Blockdiagramm für den östlichen Granittteil Bornholms.

Zeichenerklärung: 1. Streifiger Granit. 2. Übergangszone. 3. Paradisbakke-Granit. 4. Streifige Randzone. 5. Svanerke-Høvedsgaard-Granit. 6. Granit, von Paläozoikum verdeckt. 7. und 8. Horizontalprojektion des linearen Parallelgefüges der dunklen Mineralien. 9. Flächenhaftes Parallelgefüge der dunklen Mineralien im Anschnitt. 10. Flächenhaftes Parallelgefüge. 11. Aplitischer Schlieren. 12. Schriftpegmatitmassen. 13. Pegmatite. 14. Untersuchte Aufschlüsse. 15. Grenzschieferung. 16. Subjektive Abgrenzung der Granitvarietäten im Hauptgranit.

Figur 6. Kaufmanns kort over Østbornholm (Bubnoff & Kaufmann 1933). Den tyske tekst er bibeholdt. Intet sted på kortet synes det bemærket, at de mørke hobe ikke nødvendigvis definerer den samme orientering som leukosomet (her kaldt aplitiske slirer).



Figur 7. Bubnoffs (1938) kort over Hammer-graniten og dele af Vang-graniten.

Micheelsen skærer Svaneke-graniten folden diskordant, hvilket daterer Svaneke-stadiet som yngre. Men på hvilket grundlag er det bestemt, at Svaneke-graniten skærer folden, hvis folden altså er der?

Allerede Ussing (1904) gjorde gældende, at gnejsen stribning kunne følges ind i Svaneke-graniten, vel at mærke graniten selv, gnejsindeslutninger blev ikke nævnt. Han konkluderede, at deformationen, der var ansvarlig for stribningen var yngre end Svaneke-graniten. Dette blev kategorisk afvist af Callisen (1932), der tilsyneladende accepterede Ussings ræsonnement, men siden hun var uvillig til at acceptere konsekvensen, nemlig at stribningen

og måske gnejsen var yngre end Svaneke-graniten, i stedet forkastede observationen. Micheelsens forklaring, at stribningen er en relik struktur, som har overlevet partiel replacering, faldt ikke nogen af disse gamle forfattere ind.

Beslægtede observationer blev gjort i og omkring Hammer-graniten af Bubnoff (1942), se Figur 7, og Hansen (1970). Sidstnævnte konkluderede, at den deformation, der skabte stribningen, foregik senere end Hammer-granitens størkning. Jørgart (1968b) bestemte oprindelig aldersforholdet mellem gnejs og Hallegård-granit ud fra en forestilling om, at Hallegård-graniten udviste en skærende relation

i forhold til gnejsen. Imidlertid har Hallegård-graniten flere steder indenfor sit udbredelsesområde en utvetydig stribning, der er parallel med den regionale orientering fra gnejsen nordfor. Dette betyder, at stribningen udfra argumentationen ovenfor kan tænkes at være påtrykt ved en deformation yngre end begge enheder. Uheldigvis berører denne eventuelitet os muligheden for at afgøre den relative alder af gnejs og Hallegård-granit ved princippet om skærende relationer.

Utvetydige observationer fra Ringebakker og Vang havn viser, at der lokalt foregår deformation, der danner gnejs udfra granit.

Konklusionen må være, at gnejsens stribning i næsten i hele det bornholmske grundfjeld med overvejende sandsynlighed afspejler en deformation, der er yngre end det tidspunkt, hvor granitterne dannedes som selvstændige legemer, hvad enten dette skete ved intrusion eller anatexis. De skærende kontakter, der henvises til, eksisterer imidlertid kun i indbildningen. Uden at kende til utvetydige skæringer, hvor gnejs og granit er i kontakt, anses det alligevel for overvejende sandsynligst, at granit-protolitherne (d.v.s. de ustribede varianter af granitterne) er yngre end gnejs-protolithen og opstået fra denne ved anatexis.

For en ordens skyld nævnes, at den eneste skærende relation, der utvetydigt fastslår de regionale granitiske enheders relative alder er kontakten mellem Vang-granit og Hammer-granit på Sjelle Mose lokaliteten. Denne viser, at Hammer-graniten er yngre end Vang-graniten.

Aldersbestemmelser og kronologi

Larsen (1971) bestemte K/Ar alder på pegmatit, Rønne-granit, Hammer-granit og Svaneke-granit og fandt aldre varierende fra 1255 ± 15 to 1340 ± 30 Ma. En Rb-Sr "whole rock"-isokron omfattende 20 prøver af Vang-granit, Hammer-granit og Svaneke-granit bestemte alderen af deres fælles moderbjergart til 1400 ± 60 Ma og et initialt $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ forhold på 0.7033 ± 0.003 (Larsen 1980).

Aldersforskellen mellem de to sæt målinger menes at stamme fra en forlænget afkølingshistorie (Larsen 1980). Den nyeste aldersbestemmelse er udført på mikroklin fra Rønne-granit ved hjælp af $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Holm 1985). Aldrene for forskellige koncentriske zoner i mikroklinen varierede fra 946 Ma til 670 Ma. Om dette kan afspejle en stærkt forlænget afkølingshistorie er nok tvivlsomt.

Rb-Sr alderen af de bornholmske graniter stemmer overens med "whole rock" alderen af flere granitiske plutoner i Blekinge (Johansson & Larsen 1989). Disse plutoner intruderer kystgnejsen, som har en "whole rock" alder tæt på 1700 Ma. Desværre kendes alderen på den bornholmske gnejs ikke til sammenligning, og ligheden mellem kystgnejs og bornholmsk gnejs er ikke stor nok til at begrunde formodningen med nogen større faglig styrke. Forestillinger om en mulig sammenhæng mellem Bornholm og Blekinge (eller Skåne) må afvente yderligere datering.

Aldersbestemmelse baseret på geologisk ræsonnering er det eneste mulige alternativ. Callisen (1932) delte granitterne i to grupper, en ældre gruppe omfattende de fleste granitvarieteter og en yngre gruppe bestående af Hammer- og Svaneke-granit. Callisen var af den opfattelse, at aldersforskellen mellem de to grupper var lille. Det havde hun ret i, siden begge grupper lader sig repræsentere på 1400 Ma isokronen omtalt ovenfor.

Micheelsen (1961b) opstillede følgende relative kronologi for det granitiske grundfjeld: 1) geosynklinal stadiet bevidnet af indeslutninger af flere forskellige slags suprakrustalbjergerarter, 2) Rønne-stadiet omfattende foldning og metamorfose i granulitfacies, 3) Hammer-stadiet bestående af granitisering, og 4) Svaneke-stadiet, endnu en granitisering. Aldersforskellen mellem Hammer og Svaneke-stadiet er primært baseret på en observation, der tyder på, at Svaneke-graniten replacerer en pegmatitgang. Ifølge Micheelsen er pegmatitgange af Hammer alder, idet al leukogranitisk substans i Micheelsens hypotese dannedes ved Hammer-granitiseringen. Oven i hatten skærer Svaneke-graniten den østbornholmske fold, som tilskrives en Hammer

alder. Denne forfatter finder ikke ræsonnementerne herom overbevisende. Som tidligere oplyst finder han det heller ikke rimeligt at indføre et selvstændigt granulitfacies stadium. Endnu en pind i ligkisten til Micheelsens kronologi følger af, at Rønne-graniten, som skulle være ældst, indeslutter fragmenter af ældre pegmatitgange, som i følge Micheelsen skulle være yngre nemlig af Hammer alder (se lokalitet Klippeløkke).

Denne forfatters opfattelse er, at kun en meget simpel tidsfølge af regionale geologiske begivenheder lader sig etablere. Udgangsmaterialet er aflejret i en geosynklinal. Både metasedimenter og vulkanske aflejringer har ladet sig identificere. Senere foregik en storstilet opsmeltning og der foregik en omfattende forvandling af primære bjergarter til graniter. De primære bjergarter, der senere endte som gnejs, slap med mindre forvandling. Mindst forvandling fandt sted i den mest basiske gnejs. Den mest komplette forvandling ramte graniterne. Granitiske plutoner dannedes og bevægede sig opad, nogle meget lidt, andre længere distancer. Separation af smelte fra restit foregik i mange forskellige skalaer. Forløbet må have foregået over en længere tidsperiode og processen kan have bestået af mange trin. De fleste bjergarter deformeredes og blev sribede under eller efter den afsluttende størkning. De graniter, der er mindst sribede, har måske på deformationstidspunktet været for smeltede og usammenhængende til at modtage og fastfryse en deformationsstruktur. På grund af overlap i de parallelle og i tid forlængede forløb vil en granit uden eller med meget lidt sribning kunne forklares som et produkt af postkinematisk eller synkinematisk krystallisation. Gnejs og sribede granitvarieteter er derimod præ- til synkinematiske.

Opgave. På baggrund af den næsten allestedsnærværende øst-vest strygende sribning på Bornholm antages, at en enkelt samtidig orogen deformationsfase er ansvarlig for al sribning. Sammenlign forskellige prøver af de sribede granitvarieteter og anslå "deformationsgraden". (Her må bruges noget fantasi). Giv et overslag over graniternes alder i forhold til deformationen på baggrund af ovenstående betragtninger.

Diabas

Callisen (1934) observerede hundredvis af diabasgange og beskrev dem med vanlig akkuratessse. Diabasen skærer alle granitiske enheder, men ingen diabas er set skære sedimenter. Dette peger på en prækambrisk alder. Gangene er næsten perfekt planare. De stryger mellem N og NØ, og de står næsten lodret. Gangenes bredde varierer fra få cm til 60 m. Der er tre store gange: Kjelse å 60 m, Kaas 40 m, og Listed 30 m. Gangsværme findes ved Helligdommen og Tejn. Alle gange består af olivin-diabas af ensartet karakter. De fører plagioklas og augit som hovedmineraller. Mindre mængder af biotit er til stede. Mange andre mineraler findes. Strukturen er ophitisk. Afkølingskontakt er normal. Kjelse å gangen breccierer i kontakten. Granitindeslutninger er til stede i store mængder langs denne kontakt f.eks. ved Saltuna, men kan findes stedvis i andre gange.

Gangene har relation til de markante sprækkedale, idet disse dale ligesom gangene stryger N til NØ. Relationen til diabas er ikke helt gennemskuelig, idet der findes diabasgange uden dale, dale uden diabas samt dale marginalt forskudt i forhold til diabasen, således at diabas danner den ene af væggene i dalen (Callisen 1934). Sprækkedalene er således ikke nødvendigvis opstået ved borterosion af diabasgange. Kollektivt vil diabasgangene og sprækkedale blive betegnet NNØ-systemet for at holde dem ude fra andre gang- eller sprækkesystemer.

NNØ systemet af dale og diabasgange anses for et produkt af forkastningstektonik. Spredning på tværs af sprækkesystemet i størrelsesordenen nogle få hundrede meter er givet. Hvorvidt der også er forskydning på langs af dalene er imidlertid svært at sige. Et eksempel er Dynddalen, som i følge feltobservationer af Münther (1945). skiller to blokke forskudt relativt ca. 4-500 m. De bjergarter, der skulle kunne identificeres i forskudte positioner på hver side af sprækkedalen er det dog ikke lykkedes nærværende forfatter at genfinde. Ud fra magnetiske målinger i terrænet samlede Münther (1957, 1973) yderligere et antal eksempler på indbyrdes forskydning af to forkastningsblokke.

Nogle forkastninger skærer Neksø sandstenen, hvilket betyder, at de er fanerozoiske. Tre forkastningsgenerationer er bestemt af Münther.

Palæomagnetiske undersøgelser af diabasen foretaget af Abrahamsen (1977) identificerede tre intrusionsfaser: 1200 Ma, 1000 Ma, og nedre til mellem palæozoisk tid. Den sidste er aldersbestemmelsen af Vigehavn gangen, og den må anses for suspekt i betragtning af, at intet andet tyder på eksistensen af NNØ-strygende diabinjektioner i Palæozoikum hverken på Bornholm eller i Skåne, begge steder med palæozoiske lagfølger, der aldrig er set blive skåret af NNØ-diabas. Abrahamsen har formentlig kun foretrukket den palæozoiske mulighed frem for en anden mulighed nemlig 1400 Ma, fordi denne prækambriske alder ville gøre Vigehavngangen ældre end K-Ar alderen af Svaneke-graniten, som skæres af gangen. (Rb-Sr "whole rock" alderen af Svaneke-graniten, som også er 1400 Ma var ikke kendt af Abrahamsen i 1977). Interessant nok kom Schönemann (1972) frem til, at Kjelse å gangens alder var 1400 Ma ligeledes ved palæomagnetiske metoder. Spredningen af aldre synes at pege på mange generationer af intrusiv aktivitet. Ikke desto mindre må en prækambrisk alder for alle NNØ-gange være det mest sandsynlige, også selv om dette indebærer en snæver køreplan for grundfjeldsdannelsen på Bornholm. Det må formodes, at isotopgeologisk datering er nødvendig for at afklare spørgsmålet.

En undersøgelse af to diabasganges petrologi blev udført af Jensen (1966), men de nærmere detaljer ligger udenfor dette arbejdes rammer.

I Skåne og Blekinge er grundfjeldet også intruderet af NNØ strygende gange, dels hyperit-diabas, dels olivin-diabas, der indgår i et gangsystem, der kan følges helt til Dalarna i Mellem-Sverige (se f. eks. Kornfält & Bergström 1991, der også angiver referencer). Disses indbyrdes relationer og deres relationer til bornholmsk diabas er ikke forstået.

Nogle få NV-strygende diabasgange blev registreret af Johnstrup (1891), Callisen (1934) og Münther (1945). Disse var indtil for nyligt ikke holdt ud de NNØ-strygende prækambriske

diabaser. For nyligt viste Jensen (1989) imidlertid, at en NV strygende gang i Bjergebakke bruddet, Bornholm, bestod af kullait, som er en basaltisk trachyandesit karakteristisk for de NV-strygende diabasgange i Skåne, og hvis alder ligger omkring overgangen mellem Karbon og Perm. Formodentlig tilhører andre af Bornholms NV-strygende gange dette unge system og de kendte NV-gange bør undersøges med henblik på at fastslå sagens rette sammenhæng.

Lokaliteter

I det følgende beskrives et antal lokaliteter. Rækkefølgen er i grove træk gnejs, migmatit, melanokratiske graniter, leukokratiske graniter, Hallegård og Svaneke-granit, diabas, tektonik og geomorfologi.

Knarregård. Gnejs, typisk for området omkring Gudhjem.

Opgivet og tilgroet brud med vanskelige adgangsforhold. Spadsér fra landevejen.

Gnejsen er grå bortset fra de øverste decimeter, der er rødlige, hvilket er normalt for gnejs i naturskabte blotninger. Foliationen er udtalt, stryger E, dykker N.

Bruddet blev studeret grundigt af Micheelsen (1960, 1961a, b) særlig med hensyn til leukograniter og deres forhold til sribningen i omgivelserne. Micheelsen fremstillede mange skitser af de strukturelle relationer, der observeredes i bruddets vægge. Næppe nogen af de afbildede strukturer overlevede til i dag, idet brydning fortsatte nogen tid efter Micheelsens arbejde sluttede. I den sidste tid, mens bruddet var i drift, var det indtrykket, at der var længere mellem gode erstatninger for de tabte.

Der blev observeret talrige leukogranitiske legemer fra aplit til pegmatit. Relationen til gnejsens sribning viste synkinematisk krystallisation. Sammenhængen mellem deformation og dannelse af leukogranit var ofte utvetydig, idet leukogranitlegernerne fandtes i fleksurzoner eller i zoner med konvergerende foliation. Endvidere var de ofte afgrænset af konformt deformerede basiske fronter (melanosom). Nogle leukogranitiske legemer var prækinematiske.

Ptygmatiske foldede leukogranitgange blev set. Linseformede indeslutninger af ustribede, finkornede bjergarter var almindelige.

Rokkestenen, Rutsker Højlyng. Gnejs, typisk for Nordbornholm.

Et antal små forladte brud i skovområdet nord for Rokkestenen med forholdsvis let tilgængelighed og mange præfabrikerede blokke, der gør det let at slå prøver af..

Gnejsen er leukokratisk, rødlig og mellemkornet. Foliationen er veludtalt, strygning E, hældning N. Finkornede indeslutninger og migmatitstruktur observeres jævnlgt.

Undersøgelse af deformeret plagioklas udført på lokaliteten af Zbigniew Cyberman, Polen tyder på NS kompression, hvilket indebærer, at gnejsens foliation markerer planer langs hvilke, overskydning har fundet sted (personlig meddelelse, 2000).

Pedersker Plantage. Gnejs, typisk for de mafiske varieteter i syd.

Lille forladt brud, der er let tilgængeligt, men præcise kortstudier er nødvendige for at finde det. Lokalisér hvor Åkirkeby-Neksø landevejen krydser Pedersker-Østermarie landevejen. Bruddet ligger 1.5 km nord for dette kryds og kan, når man er der, ses fra landevejen. Et smalt hjulspor fra landevejen syd om bruddet er passabelt, men ellers kan biler stå på landevejen.

Hovedparten af gnejsen i bruddet er kraftigt grusforvitret. Tilsyneladende har man gravet grus direkte fra profilerne. Uforvitrede gnejsiske kerneblokke omkring 1 m store er dog talrige både i profilerne og i bunden. Primær jorddannelse og dens relation til spændingsgenererede forkløftninger kan studeres i profilet længst mod nordvest.

Den friske gnejs er mafisk med lange striber af mafiske mineraler og grønlig plagioklasstrøkorn. Mikroskopstudier afslører, at en meget finkornet mellemmasse omgiver strøkornene, tydeligvis en quench struktur. Denne gnejs kan derfor formodes at have en vulkansk forhistorie.

Åvang. Forvitret monolit af Paradisbakke migmatit.

2.5 km NE for Pedersker i vejkanthen af en bivej mod Bodilskirke.

Monolitten har størrelse, form og opstilling som en stor gravsten (Figur 8). Den er ifølge ejeren gravet frem fra moderat dyb på grunden i nærheden. Dens identitet som Paradisbakke-migmatit kan der ikke herske tvivl om. Når den findes sydvest for sit oprindelsesområde, skyldes det gletchertransport under istidsforhold. Dens beskedne afrunding stemmer overens med dette. Blokkens overflade har været udsat for en kraftig forvitring, der har ladet leukosomet stå frem i et kraftigt relief, der hæver sig en cm op over det mere nedgnavede mesosom, der dog ved denne proces har opnået at få sin fine sribning overordentlig smukt fremkaldt. Herved opnås, at vigtige strukturelle observationer bliver langt sikrere og lettere at tolke end tilsvarende observationer fra friske prøver. Åvang-monolitten tjener således som et træningseksempel, der kan opruste den geologiske iagttager før mødet med de friske blokke fra Præstebo/Bertelegård bruddene.

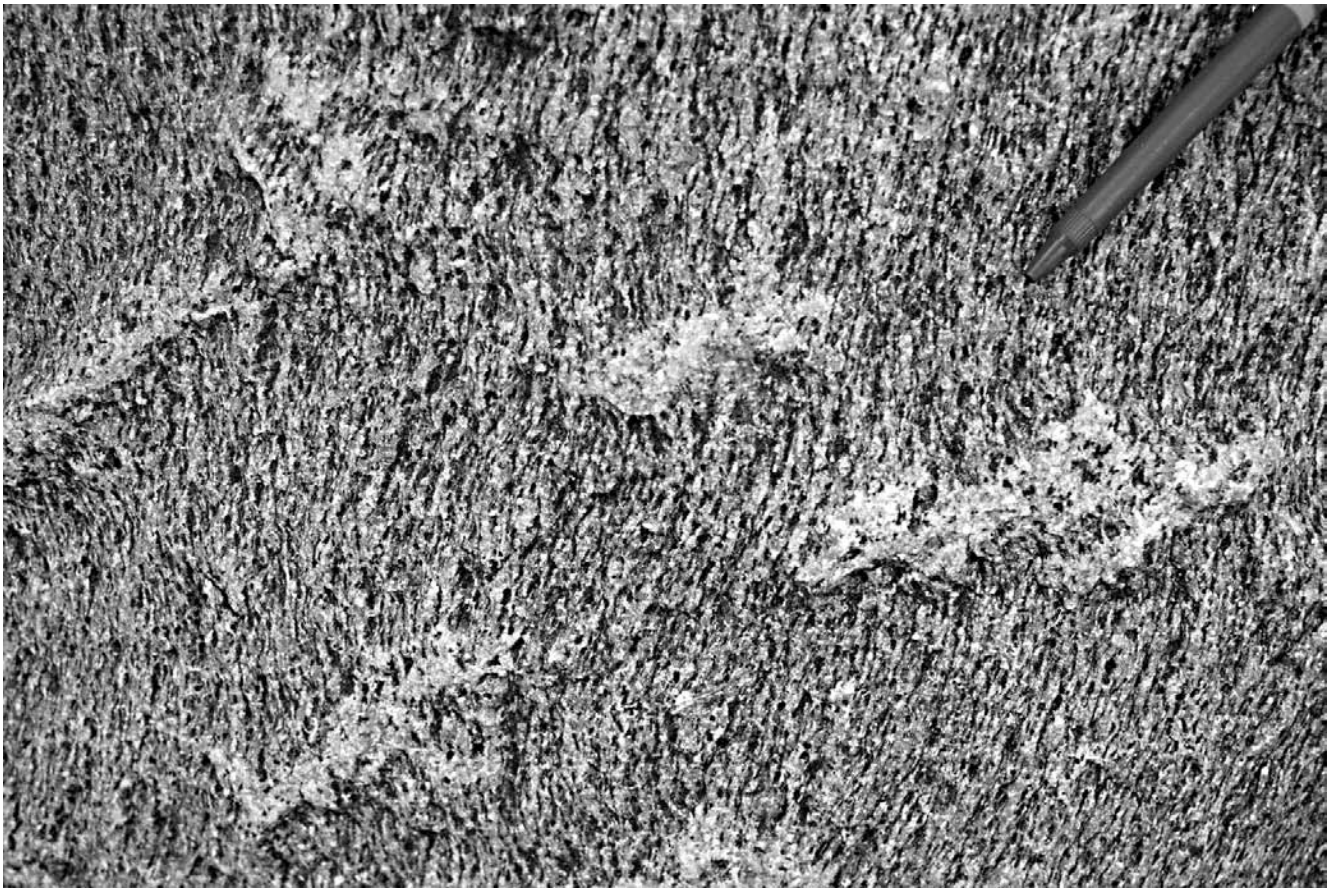
Beskrivelse og tolkning af de vigtigste strukturelle elementer er en vigtig øvelse for studerende, der første gang møder Paradisbakke-migmatiten: Den umiddelbare forestilling, at de fremtrædende leukogranitiske årer er de yngste, skal sættes på prøve. Følg sribningen i mesosomet, det er ikke svært. Det ser ud som om den er lavet med en redekam. Det kan konstateres, at sribningens natur er mest foliation markeret af flade hobe af mørke mineraler. Foliationen synes at fortsætte ind i leukosomet. Migmatiten er således prækinematisk. Monolittens ydre form afspejler foliationens orientering, idet den er flad parallel med foliationen.

Opgave. Fremstil nogle skitser af observationer, der viser relationen mellem sribning og den migmatitiske struktur. Fremstil to skitser af de hypotetiske relationer, der gælder, 1) når sribningen er klart ældre end den migmatitiske struktur og 2) når sribningen er klart yngre end den migmatitiske struktur. Diskriminer mellem de to modeller. Gør dig klart, at observationerne ikke kan gøres med fuldstændig sikkerhed, men

en vigtig blokade mod at vælge model 2, beror på, at sribningen bæres af de mørke mineraler, der kun forekommer uhyre sparsomt i leukosomet.



Figur 8. Åvang monolithen. Foto fra 1991, hvor positionen var anderledes end i dag. Håndens skygge viser skalaen.



Figur 9. Åvang-monolitten. Nærbillede af relationen mellem flammestrukturen og sribningen.

Bertelegård/Præstebo, Paradisbakkerne. Paradisbakke-migmatit.

To brud beliggende i den nordlige kant af Paradisbakkerne. Forespørgsel om tilladelse til besøg i bruddet kan rettes til Leif Thorsen, De forenede Granitbrud, tlf. 56950459 (samme som Klippeløkke).

Migmatiten opbygges af jævnt fordelte flammelignende årer af leukosom i et mørkt mesosom. Mængden af leukosom udgør 10 til 20 %. Leukosom årerne er flade svagt bølgede legemer, som i gennemsnit stryger N. Mere end én generation er til stede. Mesosom og melanosom har en svag sribning, der somme tider definerer en anden retning end leukosomet.

Forholdet mellem de strukturelle elementer kan lettest bedømmes i de nybrudte blokke, der tillader inspektion fra flere sider. Strukturens oprindelse er gådefuld. Den kan næppe afspejle primær lagdeling. Formodentlig er strukturen et stressbetinget deformationsmønster, hvorunder er skabt et pseudoregulært mønster af revner, der kunne opsamle leukogranitisk smelte fra omgivelserne. Et gammel gummislange får den slags revner ved strækning.

Migmatitdannelse er et emne, der studeres flittigt, men højst forskellige modeller fremføres side om side (Ashworth 1985, Maaløe 1992). Nærværende forfatter har mistanke om, at Paradisbakke-migmatiten med sin påfaldende struktur kunne være en slags nøgle til forståelsen af migmatitdannelsens gåder.

Klippeløkke. Rønne-granit.

Granitbrud med aktiv brydning 3 km ENE for Rønne. Forespørgsel om tilladelse til besøg i bruddet kan rettes til Leif Thorsen, De forenede Granitbrud, tlf. 56950459 eller 21789360 (samme sted kan forhøres om Bertelegård/Præstebo).

Rønne-granit blev undersøgt indgående af Callisen (1932, p. 23-60). Klippeløkke bruddet var mellem de undersøgte lokaliteter. Rønne-graniten ser mafisk ud og er også blandt de mest mafiske af de bornholmske graniter. Alligevel udgør mafiske mineraler mindre end 20 %. De lyse mineralers gennemskinnelighed er ansvarlig for Rønne-granitens melanokratiske udseende. Plagioklas dominerer over mikroklin, hvilket bevirker, at den kaldes granodiorit af nogle geologer. Men bjergarten er en granit sensu stricto ifølge IUGS Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks (Streckeisen 1976). Callisen omtaler tilstedeværelse af orthoklas, sandsynligvis en submikroskopisk tvillingdannet mikroklin. Kornstørrelsen er noget heterogen, næsten porfyrisk.

Pegmatitgange er talrige. De er oftest dannet ved åbning og indtrængen i en sprække (dilatation kaldte Micheelsen det som den logiske modpol til replacering). Gangenes tykkelse er fra få cm op til over 1 m. Der er rigtig mange tykke gange øverst i vestvæggen af bruddet. Udfra studier af de mindre pegmatitgange menes det, at gangene nærmest har form som en lukket linse, dvs. uden tilførselsgange. De må således være dannet udfra lokalt materiale tilført langs korngrænser. De er til tider zonare med massiv kvartskerne. De udviser en simpel mineralogi. Foruden de normale felsiske granitmineraler og små mængder biotit, findes korn af fluorit, pyrit, chalcopirit, molybdenit, galena og gadolinit.

Små kantede eller runde indeslutninger af mørke bjergarter findes hyppigt. De synes som regel at være finkornede, men en prøve indsamlet fra overfladen tæt ved kanten af bruddet indeholder cm-store plagioklasstrøkkorn i en matrix bestående af en mærkelig sammenvoksning af mafiske mineraler.

Fragmenter af store mikroklinkorn (admiraler) fra nogle cm op til flere dm findes

fra tid til anden. De omgives af en reaktionsrand af plagioklas. Det er svært at forestille sig nogen anden kilde til disse feldspatkorn end ældre pegmatitgange brudt op ved intrusiv virksomhed ("forceful flow"). Derudover er fundet nogle få op til dm-store velformede plagioklas krystaller. Ifølge Callisen, varierer deres sammensætning fra 54 % an i kernen til 20 % an i randen. Kernen er altfor basisk til, at en oprindelse som pegmatitfeldspat kommer på tale.

Rønne-graniten opfattes vanemæssigt som den ældste af de bornholmske graniter, men dens stilling i den bornholmske kronologi er i realiteten ukendt, dels på grund af stærkt svingende isotopgeologiske aldersbestemmelser, dels fordi kontaktrelationerne er utilstrækkelig kendt, dels fordi Micheelsens Rønne-stadium er berøvet sit væsentligste aktiv nemlig hypersthen.

Rønne-granitens sammensætning er meget lig sammensætningen af de omkringliggende områders gnejs, som ligesom Rønne-graniten hører til de mest mafiske bornholmske graniter. Således er de ti mest mafiske graniter repræsenteret på Figur 4 enten Rønne-granit eller gnejs tæt ved. Da Rønne-granit fører uregelmæssig zonar plagioklas, er anatexis en mulig forklaring på dens dannelse, hvad der ikke skal forhindre Rønne-granit i at udvise visse intrusive karaktertræk (forceful injektion ovenfor). Konsekvenserne af Rønne-granitens mulige oprindelse ved anatexis og intrusion er gennemgribende og ikke helt overskuelige. Klart nok vil Micheelsens kronologi og almene ræsonnement være ødelagt alene af den grund, at der forekommer to generationer af leukogranit, som jo ikke begge kan være opstået under Hammer-stadiet. På den anden side vil den regionale differentiationsmodel, som forklarer Rønne-granit og de mafiske gnejser som en slags residualer efterladt efter tab af leukogranitisk smelte, også kræve nogen revision. Det, der vil gøre mindst ondt, er hvis Rønne-graniten er dannet til sidst.

N og NØ-strygende diabasgange forekommer.

Opgave. Ved nedkørslen til bruddet findes en lodret væg, der viser en SV hældende pegmatitgang, der ca. 6-8 m over vejens niveau er forsat ca. 20 cm. I tilknytning til forsætningen

findes en rektangulær blok af Rønne-granit indesluttet i pegmatiten. En anden lidt tyndere pegmatitgang synes at skære på et niveau omkring hovedhøjde. Udred tektonikken og aldersrelationerne.

Opgave. Lav modalanalyse på en pegmatitgang med et målebånd.

Maegård. Pyroxen-granit.

Blotning på mark. Kirkedalsvej 1 km syd for Rutskirke, få meter fra vejen. Ødelagt, men samtidig gjort lettere tilgængelig ved forgæves forsøg på bortsprængning.

Denne granit er af Micheelsen og andre betegnet Maegård granodiorit, hvilket er uberettiget i henhold til samme argumentation som omtalt under Klippeløkke. Bjergarten har haft en hovedrolle i de petrogenetiske diskussioner, idet Micheelsen (1961b) anså den for at repræsentere en reliket bjergart, der delvis havde bevaret sit mineralselskab fra granulitfaciesmetamorfosen i Rønne-stadiet, og tillige bevaret sin udgangssammensætning uantastet af granitiseringen i Hammer-stadiet. Endvidere mente Micheelsen, at denne bjergarts sammensætning var repræsentativ for hele det bornholmske grundfjeld fra før granitiseringen. Denne betydningsfulde rolle fik bjergarten, fordi Micheelsen havde fundet hypersthen i den. I lyset af senere diskussioner må man beklage, at Micheelsen ikke publicerede en komplet beskrivelse af bjergarten.

Maegård-graniten er en sej porfyrisk bjergart bestående af plagioklas og hobe af mafiske mineraler i en meget finkornet grundmasse. Bjergarten er ikke specielt mafisk sammenlignet med Rønne-graniten (Figur 4). Hornblende er langt det mest dominerende mafiske mineral. I de centrale dele af hornblendens findes ofte korn af diopsidisk pyroxen. Hypersten er ikke fundet i nogle af de tyndsnit, denne forfatter har til sin rådighed. Uden hypersthen, ingen granulitfacies, i realiteten ingen metamorf facies overhovedet. Micheelsen opgiver en modalsammensætning

med 3 % hypersthen, hvilket under alle omstændigheder er uden bund i virkeligheden.

Ringebakker og Vang havn. Vang-granit.

Aktive brud syd for Vang. Bivej til bruddene nås ad Ringedalsvejen. Forespørgsel om tilladelse til besøg i bruddene kan rettes til driftsleder Knud Sommer Nielsen, NCC, Snorrebakken 28, Rønne, tlf.. 56952811. En samling af store brudte blokke 3-400 m syd for Vang havn kan nås ad et hjulspor fra havnen. Kørsel til stedet kræver samme driftsleder tilladelse.

Vang-granit findes her i sin mest typiske udformning, mellemkornet, rødlig og med karakteristisk veludviklede hobe af mørke mineraler. Uregelmæssig zonaritet af plagioklas er udtalt under mikroskop, hvilket peger på en oprindelse ved anatexis.

Vang-graniten er rig på mindre legemer, hvoriblandt er ældre indeslutninger og yngre gange eller årer. Blandt de ældre indeslutninger er kantede brudstykker af finkornede mafiske bjergarter almindelige, men også mange andre varieteter findes. Blandt de yngre legemer er finkornede deformationszoner, der centralt er pegmatitisk udviklet, iøjnefaldende. Det udgangsmateriale, der rammes af deformationen, er den normale Vang-granit. Større partier af en sådanne deformationszone er gerne mylonitisk, men ofte ses det, at deformationen frembringer en bjergart, der sagtens kunne gå for at være en normal bornholmsk gnejs. Disse observationer viser altså utvetydigt, at gnejsificeringen er yngre end graniten. Nærmere undersøgelse af disse bjergarter er ønskelig. Aplitgange er til stede, men ikke så rigelige, som de er eller var i det gamle brud i kysten lige syd for Vang havn.

I bruddene er overgange til andre bornholmske graniter ikke fundet, men i kystklipperne mod syd observeres en gradvis overgang fra normal Vang-granit gennem mere og mere sribede varieteter til normal nordbornholmsk gnejs.

Store blokke fra Ringebakker bruddene er blevet samlet og opstillet eller dynget ovenpå

hinanden ca. 3-400 m syd for Vang havn. Nogle af de fænomener, der kan observeres i de skiftende profiler i bruddene, kan lige så godt eller bedre studeres i denne formodentlig mere permanente udstilling.

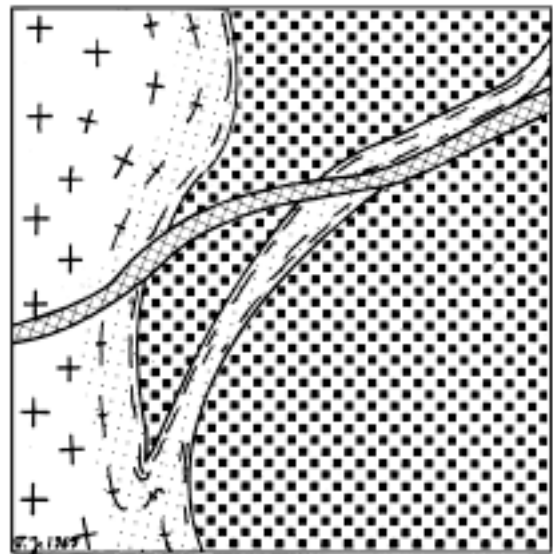
En særlig interessant blok med en pegmatit associeret med en finkornet glidezone har kunnet observeres her gennem det sidste årti og vil under alle omstændigheder blive bevaret, da den er blevet fredet af Knud Sommer Nielsen NCC. Den har form som en lidt skæv terning med en diameter på 1.5 m og står som den første større blok klods op ad hjulsporet. Zonen er skåret på en måde, der tillader observationer af zonen og dens omgivelser fra fem sider. Blokken selv består af typisk Vang-granit i to diametralt modstående kanter. Et profil fra en af kanterne med Vang-granit mod pegmatiten passerer et lille stykke inde en noget stribet Vang-granit. Længere inde bliver strukturen mere og mere gnejsisk og til sidst meget tæt stribet, hvorefter der er skarp overgang til pegmatitlegemet, som er mere end dm-tykt. Dele af pegmatiten har et unormalt udseende som om den har deltaget i glidebevægelsen. Studier af foliation og lineation i de sribede enheder gør det muligt at afklare de relative bevægelsesretninger af de to halvdele af blokken. En model for gnejsdannelse kan umiddelbart opbygges over iagttagelser fra denne blok. I blokken er gnejs tydeligvis dannet udfra Vang-granit. Det må alvorligt overvejes, om modellen kan have anvendelse som generel forklaring på dannelsen af bornholmsk gnejs.

Opgave. Udfør en nærmere undersøgelse af de beskrevne fænomener.

Sjelle Mose. Kontakt mellem Hammer-granit og Vang-granit.

Et lille opgivet brud i østkanten af et bakkeparti ved navn Sjelle Bakke (bornholmsk for Sjæle Bakke) 2 km nord for Olsker. Små biler kan køre næsten til indgangen af det restaurerede brud ad et hjulspor vest for søen Sjelle Mose (Sjælemose). Hamring på fast klippe forbudt.

Brydning stoppede i begyndelsen af 30'erne lige på det rigtige tidspunkt til at bevare et interessant profil, der først blev beskrevet af Bubnoff (1932) senere undersøgt mere nøjagtigt af Callisen (1932, p. 99-103). Vang-granit ses ovenpå Hammer-granit i to af bruddets vægge, nemlig i nord og syd. I begge profiler fås det indtryk, at to kæmpemæssige kantede blokke af Vang-granit er sænket ned i Hammer-granit. Forud for brydningen var det kendt, at disse to blokke ikke var forbundet.



Figur 10. Sjelle Mose brud. Kontakt mellem Hammer-granit og Vang-granit i et 4 m bredt udsnit af nordvæggen, (forsimplet, omtegnet efter Callisen 1932). Vang-granit (sorte kvadrater) skæres af Hammer-granit, aplit og pegmatit. Symboler for Hammer-granit og aplit (krydser, linier, prikker) antyder homogene, sribede og finkornede varieteter. Figuren viser, at aplit synes at være Hammer-granits kontaktfacies, men aplit er ikke Hammer-granit sensu stricto. En pegmatitgang skærer gennem kontaktstrukturene.

Kontaktrelationerne i nordvæggen lader sig stadig besigtige og en del af dem er vist skematisk Figur 10. Hammer-granit, som normalt er forholdsvis enskornet, bliver porfyrisk, hen mod kontakten. Tæt på kontakten overgår Hammer-graniten i en veldefineret finkornet leukogranitisk kontaktzone, der traditionelt kaldes randaplit. Den er dog stedvis noget heterogen med partier af noget grovere kornstørrelse. Fra kontaktzonen udgår

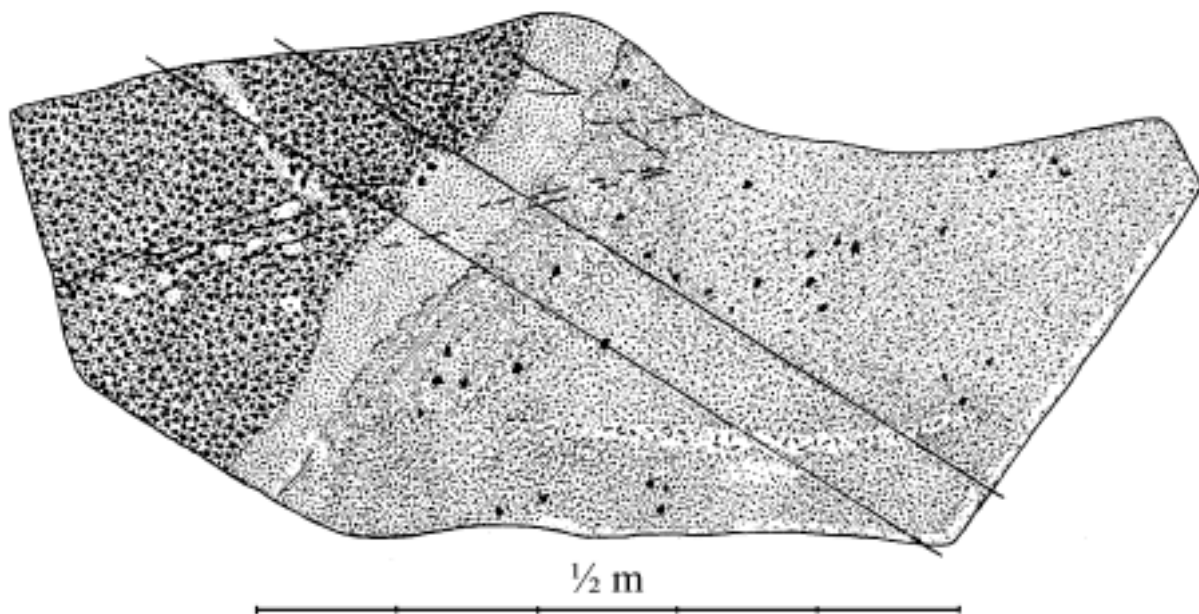
en apofyse, der vokser ind i Vang-graniten. I nærheden af Vang-graniten er både randaplit og dens apofyse oftest noget sribede. Vang-granit bevarer på den anden side ofte sit normale udseende ganske tæt til kontakten bortset fra en smule sribning i de yderste cm. Lignende iagttagelser kan gøres flere steder i bruddet men ofte mindre tydeligt.

Hammer-granit intruderer tydeligvis Vang-graniten. Den første er således yngre end den sidste. Visse spørgsmål melder sig imidlertid. Hvilken rolle spiller den finkornede kontaktzone? Er det en afkølingskontakt eller er den et leukogranitisk differentiationsprodukt fra Hammer-graniten? Sidstnævnte mulighed må foretrækkes, da kontaktzonen ikke har samme

sammensætning som Hammer-graniten (se Figur 10). (En beslægtet problemstilling knytter sig til Svaneke-granit/gnejs kontakten vest for Listed). Rønsbo (1970), som gennemførte en detaljeret undersøgelse af Hammer-graniten omkring Olsker, fandt evidens for eksistensen af flere generationer af finkornede differentiationsprodukter udviklet fra den smeltede Hammer-granit. Desværre var Sjelle Mose ikke blandt hans lokaliteter.

Pegmatiter skærer alle andre granitiske enheder i bruddet. En 0.6 m tyk diabasgang findes langs bruddets vestvæg.

Opgave. Beskriv og kortlæg hele nordvæggen.



Figur 11. En stor poleret prøve, som viser et profil på tværs af kontakten i Sjelle Mose. Hovedenhederne Vang-granit, rand-aplit og Hammer-granit ses klart. Det kan ikke herske tvivl om, at den leukogranitiske randfacies har en anden sammensætning end Hammer-granit. Der ses andre elementer nemlig leukogranitiske årer og fuldstændig ophuede sprækker i både Hammer- og Vang-granit. De to parallelle linier viser en strimmel, fra hvilken et antal prøver er udtaget til mikroskopi i transparent og reflektet lys.

Stejlebjerg. Nedlagt stenbrud i Hammer-granit

Parkér ved fyret på toppen af Hammer Knuden. Busser kan parkere ved Sæne havn, hvorfra stien fører stejlt op til bruddet. Skov- og Naturstyrelsens folder "Hammeren og Hammershus Slotslyng, Bornholm" indeholder et glimrende detailkort. Bruddet er efterladt uden oprydning for omkring et halvt århundrede siden. Et større antal små arbejdspladser med hver sin dyng af skærver ses endnu.

Hammer-granit er den mest leukokratiske af de bornholmske granitvarieteter. I håndstykke har den utallige karakteristiske røde blanke pletter. Pletterne stammer fra en substans, der overtrækker næsten alle korn og som formodes at indeholde trivalent jern. Graniten i bruddet er typisk for den centrale del af Hammer-granit plutonen. Den er forholdsvis jævnkornet og homogen bortset fra den sjældne forekomst af indesluttede finkornede varieteter.

På en vandret flade umiddelbart op ad en vandfyldt grav midt i bruddet, ses et bølget mønster. Det må være det Berthelsen (1989, p. 24) kalder "en antydning af en 'lagdeling', der fremhæves af et større indhold af mørke mineraler i visse 'lag', fremkommet ved rytmisk udfældning fra en smelte" (Berthelsens apostroffer omkring lagdeling og lag). Fortolkningen bygger muligvis på, at hårdere opragende partier jævnlgt markerer mere slidstærkt mineralindhold, f.eks. mere kvarts.

Opgave. Beskriv, opmål og tegn denne flade. Bedøm om der er forskel på mineralindholdet i toppen og bunden af bølgerne. (Bemærk, at de mørke mineraler på fladen kan tælles, idet deres position angives af huller). Analysér logikken i Berthelsens fortolkning. Sammenlign med andre iøjnefaldende flader f.eks. den skrå glatte flade i SE-kanten af bruddet.

Bjergebakke. Nedlagt brud i Almindingen-granit.

Der kan undertiden køres direkte ind i bruddet med bil.

Denne granit ligner Hammer-graniten meget og er af Micheelsen kaldt Hammer-granit uden reservation. Almindingen-granits sammensætning er dog lidt anderledes, som Figur 4 viser. Stribningen er almindeligvis meget udpræget næsten som anden bornholmsk gnejs. Violet flusspat er iøjnefaldende i visse partier. Indeslutninger af linseformede biotitrige bjergarter findes. Epidot optræder i sprækker.

I vestkanten af bruddet optræder en NV-strygende 2-3 m bred mafisk gang. Den blev fundet og beskrevet Jensen (1989). Mineralindholdet domineres af plagioklas, kalifeldspat, klorit, biotit og titanomagnetit. Dens sammensætning klassificerer den som en basaltisk trachyandesit. Gangen er af Jensen identificeret som kullait, en bjergartstype, der tilhører en gangsværm med talrige og ofte store NW-strygende diabasgange kendt fra Skåne. Disse gange står i forbindelse med magmatiske aktiviteter i Törnquist Zonen omkring overgangen karbon/perm. Bjergebakke-kullaiten har en cm-bred kontaktzone hovedsagelig bestående af albit. Apofyser trænger stedvis ud i omgivelserne.

Katteslets Bakke. Kontakt mellem Hallegård-granit og gnejs.

Parkeringsforholdene er vanskelige. Find en plads i vejsiden nær indkørslen til Kattesletsgård. Lokaliteten er kratbevokset, sti eksisterer ikke. Adgang vil måske blive nægtet på grund af dyr med unger eller jagt. Spørg Vagner Mauridsen, Kattesletsgård om adgang. Den blottede kontakt findes flere steder, men bedst er en blotning på toppen af den 5 m høje fjeldside eksakt vest for andedammen. Blotningen er en lille kuppel ca. 1 m i diameter. Den har en ujævn overflade som stammer fra prøvetagning med dynamit.

Hallegård-granit blev fundet af Bubnoff & Kaufmann 1933, som anså denne granit for beslægtet med Svaneke-granit. Callisen (1934), mente imidlertid at graniten var en nær slægtning af Rønne-granit. Münther (personlig meddelelse 1965) observerede, at granitens magnetiske egenskaber var meget anderledes end Rønne-granitens. Nærværende forfatter udførte feltstudier og petrografi for at løse denne kontrovers (Jørgart 1968a, b).

Katteslets Bakke er en af mange lokaliteter, der blev undersøgt. Lokaliteten ligger i siden af sprækkedalen Døvredal, hvilket bidrager til at gøre det blottede område omkring grænsen forholdsvis stort. Observationer er dog ikke lette at gøre på grund af bevoksning med likener. Langs med dalsiden er kontakten fundet flere steder, idet granit, gnejs og leukogranit repeteres flere gange, hvilket kunne stå i forbindelse med kontaktbrecciering. En stærkt bølget kontakt er en anden mulighed. Den sprængte blotning er i dag det eneste sted, hvor bjergarterne i selve grænsen kan besigtiges. En flad kontakt kan følges rundt om den kuppelformede blotning. Gnejs ses øverst, granit nederst. Leukogranit er ikke til stede ved kontakten i denne blotning, hvilket er lidt af en undtagelse for lokaliteten. Gnejsen er finkornet og synes melanokratisk, graniten er mellemkornet og ser meget mere leukokratisk ud end gnejsen. Overgangen fra gnejs til granit ser gradvis og skarp ud på samme tid. Orienteringen af de mafiske mineralhobe er næppe synlig i grænsen, men er mere udtalt længere mod nord. Den almene karakter af kontaktforholdene synes at harmonere bedst med forestillingen om, at graniten er yngst, men utvetydige observationer i felten eksisterer ikke.

I større afstand fra kontakten i sydlig retning bliver Hallegård-graniten grovkornet, hvorved den kommer til at ligne Svaneke-graniten. S sammensætningen af de to graniter er også meget ens, omend Hallegård-graniten er en smule mere mafisk., som viser. Hallegård-graniten ville givetvis blive kaldt Svaneke-granit, hvis den var fundet indenfor Svaneke-granitens udbredelsesområde eller forbundet fysisk til denne granit. I betragtning af, at intet af den slags er kendt, bør det selvstændige navn Hallegård-granit fastholdes.

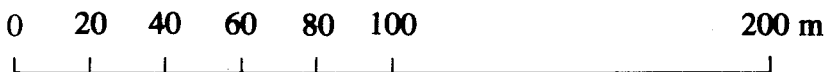
Til trods for deres forskellige udseende, har Hallegård-granit og den tilstødende gnejs, kaldet Hallegård-gnejs, temmelig ens sammensætning, som.

Kysten vest for Listed. Kontakt mellem Svaneke-granit og gnejs.

Kysten nås fra en sti fra landevejen mærket med et skilt, hvorpå, der står "Off. sti", men parkeringsforholdene består kun i en bred rabat og asfalt arealer ved private indkørsler.

Denne lokalitet er en af de klassiske. Den er først omtalt af Ussing (1904), beskrevet af Callisen (1932, 120-121), senere behandlet af Micheelsen (1961b) og Platou (1970). Kontakten fremtræder geomorfologisk i terrænet, idet Svaneke-granitens runde former øst for kontakten afløses af de mere skarpe gnejsformer. Ifølge Callisen foregår overgangen fra gnejs til granit indenfor en kontaktzone af ca. ½ m's bredde. Bjergarten i kontaktzonen er en finkornet svagt porfyrisk leukogranit, der stedvis går jævnt over i partier af mere mafiske bjergartstyper, hvoraf nogle er sribede. Apofyser og uregelmæssige årer kan spores ind i gnejsen, hvor de giver ophav til migmatit (af Callisen kaldt "Mischgestein"!). Blandt gnejs typerne, bemærkede Callisen en normal grå gnejstype, en kvarts- (og plagioklas-)rig varietet og leukogranitiske varieteter. Stribningen af gnejsen er konkordant med apofyserne eller fortsætter ind i dem med samme orientering. Adskillige m fra kontakten bemærkede Callisen lommer med store mikroklin krystaller af samme størrelse og form som i Svaneke-graniten.

Ussing (1904, p. 36-37) fandt at stribningen i gnejsen fortsatte med samme orientering ind i den tilstødende Svaneke-granit, hvilket betød, at stribningen måtte være yngre end begge bjergarter og, at den deformation, der havde frembragt stribningen var dannet efter størkningen. Callisen (1932, p. 121, 136) protesterede skarpt mest på grund af følgende implikation: Kontakten kunne ikke være så jævn og velbevaret, hvis en deformation var blevet påtrykt senere.



P:\TOMMYJ\Geologi A 2001-02\tekster\Bfoerer2001a.doc

Micheelsen (1961b) behandlede lokaliteten uden dog at give en fyldig beskrivelse af den. I en ekskursionssynopsis (Gry & Micheelsen 1962), hævder Micheelsen, at overgangen mellem gnejs og granit sker over 5-10 m. Denne zone består af uregelmæssige fragmenter af gnejs adskilt af en leukogranitisk grov granit, der ligner Svaneke-granit. Micheelsen lægger vægt på, at stribningen af fragmenterne svarer eksakt til gnejsstribe-ningens orientering længere mod vest. Herfra slutter han, at breccien er dannet ved replacering (sic!).

Micheelsen var den første, der fik øje på et lille område vest for kontakten omfattende en lagfølge af finkornede bandede bjergarter, af ham betegnet leptiter. Flatliggende tilbageløbende folder kunne observeres. Ifølge Micheelsen (1961b) er foldeakser og aksialplaner af de foldede leptiter parallel med lineation og foliation i den omgivende normale gnejs.

De seneste undersøgelser skyldes Platou. Ifølge hans kort (Platou 1970, fig. 3) er gnejsen vest for Listed kontakten lokalt domineret af lag og små planare strukturelementer med orienteringen N 30 E (NNØ), nogle få stryger 100 E. Kortet er gengivet her som figur 12. Da Platou ikke holder orienteringen af lagflader ude fra stribning, er figuren nærmest at betragte som udgangspunkt for de besøgendes egne iagttagelser. Nye studier er nemlig højst ønskelige. F. eks. er Platous hvælvede antiforms og synformer meget forskellige fra Micheelsens flatliggende tilbageløbende folder. Videre er det svært at se forbindelsen fra begge disse forfatteres beskrivelser til Callisens observationer.

Til trods for usikkerheden om, hvad der observeres på stedet, synes det ubetvivleligt, at Svaneke-graniten er yngre end gnejsen. Sammensætningen af Svaneke-graniten ligner gnejsens, hvorfor en oprindelse ved anatexis er en oplagt mulighed. Selve kontakten kan opfattes som en breccieret og migmatitisk udviklet overgangszone.

Gule Hald. Diabasgang, der skærer Svaneke-granit.

Gangen træder frem i kystklipperne 250 m øst for Listed havn. Parkering på græsarealerne lige ved gangen.

Callisen (1934, 164-173) har givet denne gang og dens fortsættelse ved Tamperdal 5 km mod syd en grundig behandling. Jensen (1966) undersøgte den mineralogiske variation på tværs af gangen. Abrahamsen (1977) bestemte gangens alder til 1000 Ma (eller måske 800 Ma) med geomagnetiske metoder.

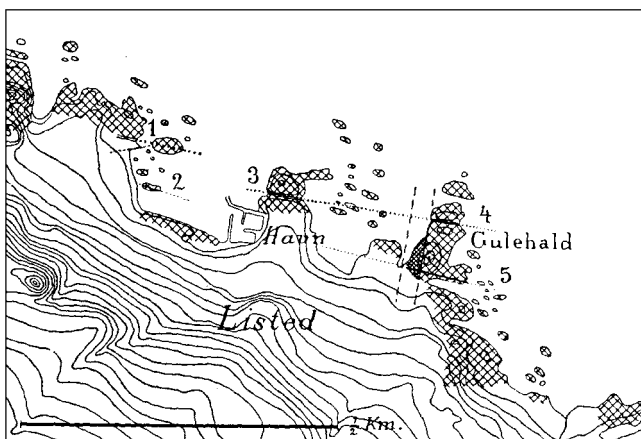
Gangen er 30 m bred, stryger NNØ og er næsten lodret. Svaneke-graniten, som den skærer, findes her i sin typiske udformning. Pegmatitforekomsterne i omgivelserne er også typiske, idet de findes som lommer, ikke gange. Feldspatgruset, der findes i lavninger er et karakteristisk forvittringsprodukt af Svaneke-granit. Graniten modstår forvitringen lidt bedre end gangen, hvilket må tilskrives, at gangens forvitring fremmes kemisk. Diabasen er nemlig langt sejere end graniten, når den bearbejdes mekanisk, f.eks. med hammer.

I midten af gangen er diabasen mellemkornet. Her ses op til 3 mm lange plagioklaskrystaller. Ophitisk struktur kan erkendes på forvitrede overflader. Mineralerne mellem plagioklaslisterne er pyroxen og olivin. Langs kanten af gangen er udviklet afkølingskontakt. Pyroxenstrøkorn ses i en tæt matrix.

Langs en 3-4 m bred zone tæt på den østlige kontakt indeslutter diabasen talrige runde plagioklaskorn, som kan være op til 3 cm store. I den samme zone findes i langt mindre mængder afrundede kvartskorn op til 1 cm i diameter. De store runde plagioklaskorn har et anorthitindhold på 26 %, hvilket må sammenholdes med anorthit-indholdet i de små plagioklaskrystaller, der ligger på 57 % i kernen og ned til 24 % i kanten. Disse anorthit-indhold understøtter ikke forestillingen om, at de runde plagioklaskorn er normale fenokryster udviklet ved krystallisation i et modermagma. En oprindelse som xenokryster plukket fra granitiske kontakter på dybet kan heller ikke godtages, da graniter med store plagioklaskrystaller af det nævnte

anorthitindhold ikke er kendt. Callisen foreslog, at plagioklas "kuglerne" krystalliserede fra et granit-kontamineret basaltisk magma. Uanset om dette skulle være den rigtige forklaring, bevidner den stærke afrunding af plagioklaskrystallerne, at det sidste trin i udviklingen bestod af en resorptionfase, der opløste betydelige dele af plagioklaskornenes marginale dele.

Diabasgangen og graniten i omgivelserne skæres af smalle grønne sandstengange (Ussing 1899, se figur 13). Sandstengangene blev undersøgt af Bruun-Petersen (1975), som udfra mineralogi og bjergartsfragmenter korrelerede dem med de "grønne skifre", en glauconitholdig siltsten fra Nedre Kambrium blandt andet blottet langs Læså, Sydbornholm. Lignende sandstengange findes adskillige steder på Bornholm, heriblandt Præstebo stenbrud og Vang- og Hammer-granit (Katzung & Obst 1997).



Exposed granite Sandstone dykes Diabase dyke

Figur 13. Området omkring Listed (Ussing 1899).

Helligdomsklipperne. Kystklipper med veludviklet regelmæssig forkløftning.

Parkering ved Hotel Helligdommen. Følg sporet mod kysten. En trappe fører gennem en smal kløft til "stranden"

Kystlandskabet domineres af stejle klippevægge parallel med og vinkelret på kysten. Forbjerge rager frem og snævre kløfter adskiller dem. Bjergarterne på stedet består af gnejs, som skæres af tynde diabasgange.

Landskabsformerne er det samlede resultat af kysterosion og jointing (opsprækning af klipperne, jointing er klarere sprog end opsprækning, da sprækker normalt er åbne). Tre retninger dominerer, ét stejlt jointsystem stryger parallelt med kysten, et andet stejlt jointsystem er vinkelret på kysten og et tredje næsten vandret. Hele konstruktionen kan opfattes som en kæmpemæssig stak kasser. Erosionsprocessen foregår ved, at havets bølger fjerner eller ødelægger de nederste kasser, hvorved alle kasser ovenpå styrter ned.

Bubnoff (1942, p. 306-12) beskrev lokaliteten og dens nærmeste omgivelser.

"Kasse-på-kasse struktur" findes flere steder langs nordkysten af Bornholm. Jointingen er sandsynligvis dannet i forbindelse med Christiansø Halvgraven, et mesozoisk bassin nord for Bornholm. Den er nærmere behandlet af Vejebak (1985) udfra seismiske data. Vejebæks data omfatter desværre ikke seismiske profiler, der dækker kanten af Nordbornholm.

Løvehovederne og Løvenæs. Kystklipper bestående af breccieret Hammer-granit.

Parkér på parkeringspladsen, der benyttes af besøgende til middelalderborgen Hammershus, og benyt lejligheden til at besigtige borgruinerne. Adgang til lokaliteten ved kysten kan normalt finde sted via en port i den nordvestlige del af borgen. Fra Hundetårnet, et tårn, der ligger i vestmuren fås et overblik over det breccierede område i fugleperspektiv. Travle besøgende kan i stedet gå ad en sti nord om borgen. Området omfatter den seværdige turistattraktion Løvehovederne og et område umiddelbart nord for, som jeg har givet navnet Løvenæs. Løvehovederne, som er en erosionsrest, der rejser sig stejl fra havet, er utilgængelig, men Løvenæs er farbar delvis ved

klattring. Indsamling af prøver bør begrænses til nedfaldne blokke i Galgerenden, en snæver dybt nedskåret sprækkedal, der danner grænsen mellem det breccierede område og den normale granit længere inde i landet.

Løvehovederne har haft rollen som vartegn for Bornholm bl. a. afbildet i utallige turistprospekter. Til trods herfor, har ingen tilsyneladende bemærket endsige beskrevet bjergarternes særlige karakter i litteraturen. Den første præsentation af lokalitetens særegne geologi blev publiceret af Jørgart (1995a), hvortil, der henvises primært på grund af de mange farvebilleder.

Overfladens former på lokaliteten er meget forskellig fra de normale bornholmske kystklipper. I stedet for regelmæssig jointing med de deraf følgende former (se Helligdomsklipperne) er formerne knudrede og domineret af rygge og gruber i forskellig skala. Formerne af erosionsresterne, som i ekstreme tilfælde består af ubalancerede hoveder på tynde halse som Løvehovederne i bugten, peger på en meget variabel sejhed og sammenhængskraft i klippernes bjergarter. Dette dækker også situationen på Løvenæs, der viser de samme former lidt mere afdæmpet. Morfologien minder meget om smeltende bunker af snavset sne.

Den breccierede karakter af bjergarterne kan observeres overalt på Løvenæs. To forskellige forekomstmåder er iøjnefaldende. I visse partier er bjergarten et aggregat af store mængder af brudstykker (klaster) af forskellig størrelse, der ligger tæt sammen. Der forekommer kun meget lidt matrix imellem klasterne, hvilket gør sammenhængen mellem klasterne forholdsvis svag. Lithologisk kan klasterne identificeres som Hammer-granit. I andre partier af de breccierede klipper findes kun få og små klaster omgivet af en rigelig gullig finkornet matrix. Denne matrix er forholdsvis sej, hvilket gør de partier, hvor matrix dominerer, modstandsdygtige mod erosion. Overgangstyper mellem de to forekomstmåder eksisterer, men de er ikke hyppige.

Den matrixdominerede forekomstmåde findes i terrænet i stejle eller svagt hældende dårligt definerede pladelignende legemer (årer) med en tykkelse på op til 1 m. Tilsammen

danner de et 3-dimensionalt netværk. Den klastdominerede forekomstmåde findes i maskerne i nettet. Det er den meget forskellige sejhed af de to varieteter, der afspejles morfologisk i de observerede rygge og gruber. Smalle matrixdominerede gange mindre end 2 cm i bredden findes og udgør et godt udgangspunkt for studier af strukturens karakter.

Den matrixdominerede varietet er til tider krystalliseret (eller omkrystalliseret) efter den destruktive fase af breccieringen. En integreret proces, der starter med opbrydning, fortsætter med intens knusning og afslutter med cementering eller sintring kunne forklare observationerne. Desværre har mikroskopstudier indtil videre ikke kunnet identificere nydannede mineralkorn i de breccierede bjergarter.

Med henblik på at afklare kronologien, er skærende relationer eftersøgt i felten. Overskærne eller knuste diabasgange kunne vise sig nyttige, men ingen blev fundet. Enkelte overrevne og knuste pegmatitgange kan følges over korte distancer. Tilsyneladende forsætninger kan andrage op til få m, men den virkelige forskydning kan som regel ikke bedømmes. Den bedste iagttagelse er en 1 m bred lodret pegmatitgang med strygning omtrent N. Gangen kan følges fra vandlinien op på en vandret hylde sydligt på Løvenæs, hvilket giver en vis information om dens 3-dimensionale form og beliggenhed. Den skæres af en næsten vandret forkastning, langs hvilken den øverste del er skubbet et antal m mod øst. Gangen bør både ses fra tårnet og undersøges på hylden på Løvenæs.

Det breccierede område findes kun i en smal zone langs kysten adskilt fra normalt graniterræn af en sprækkedal (Galgerenden). Galgerendens stejle østvæg udviser et multipelt sæt af stejle forkastningsplaner. Strygningen er N, hældningen stejl W. Ingen brecciering ses her. Forkastningsplanerne synes at befinde sig i en smal forkastningszone. Vest for zonen er Løvenæs m.v. blevet sænket i forhold til resten af Bornholm. Orienteringen af nogle af de stejlt stående cementerede årer på Løvenæs har samme orientering som forkastningszonen. Det kan således ikke udelukkes, at breccieringen kan være genetisk relateret til forkastning langs disse

planer. På den anden side underbygger det eneste velbestemte forkastningsplan på Løvenæs ikke denne formodning.

Forkastningsbevægelsen langs de N strygende planer i kanten af Galgerenden (og Galgerenden selv?) kunne stå i forbindelse med dannelsen af Rønne Graven ved nedsenkning langs forkastningsplaner langs vestkysten. Ifølge Andersen et al. (1975) skulle der imidlertid kun være et lille trin sammenfaldende med Bornholms vestkyst, medens det store trin skulle ligge længere mod vest. Vejbæk (1985) synes slet ikke at anerkende tilstedeværelsen af det lille trin. I betragtning af den voldsomme brecciering og sejheden af de sammensintrede bjergarter synes det tvivlsomt, om bevægelser i Galgerendens forkastningszone skulle kunne være ansvarlig for breccieringen vest for zonen. I tilgift er det yderligere påkrævet at forklare, hvorfor denne ene forkastningszone skulle give anledning til seje og modstandsdygtige bjergarter, når alle andre bornholmske forkastninger fører til svækkelse og forstærket erosion. Det mest sandsynlige er derfor, at bevægelserne i Galgerendens forkastningszone ikke frembragte de breccierede bjergarter, men kun bragte dem i deres nuværende position i forhold til resten af Bornholm.

Dannelsen af de breccierede bjergarter er ikke forstået fuldt ud. Høj energi synes involveret næsten som om en form for lokal eksplosiv begivenhed ramte Hammer-graniten og omdannede den. I betragtning af, at glas, slagkegler, lamellar kvarts eller kraterlignende ringstruktur ikke forekommer, vil et forslag, om en mulig dannelse ved impakt eller eksplosiv vulkanisme selvsagt ikke være overbevisende.

Et breccieret område meget lig det beskrevne findes ved Röstånga sydvestligst i Söderåsen (Carserud, 1992). De breccierede bjergarter er her væsentlig dårligere blottet end bjergarterne ved Løvenæs. Ved Röstånga er konstateret en vis nydannelse af kvarts. Zonen kan følges over nogle km. Den skæres af NW-diabas (Wikman & Bergström 1987, p. 26). I øvrigt er denne skånske breccie ligeså dårligt forstået som den bornholmske, omend den menes at have relation til bevægelser i protoginzonen.

Referencer

- Abrahamsen, N. 1977: Paleomagnetism of 4 dolerite dikes around Listed, Bornholm (Denmark). *Bull. geol. Soc. Denmark* 26, 195-215.
- Agger, G., Christensen, S., Jørgensen, H., Pedersen, P.L. 1986: Hvorfor er diabasgangen "Holbæk" omvendt magnetisk polariseret. Upubliceret projektrapport, 1. og 2. modul fysik. Roskilde Universitetscenter.
- Andersen, O.B., Larsen, B. & Platou, S.W. 1975: Gravity and geological structure of the Fennoscandian Border-Zone in the southern Baltic Sea. *Bull. geol. Soc. Denmark* 24, 45-53.
- Ashworth, J.R. (ed.) 1985: Migmatites. Blackie. Glasgow.
- Atherton, M.P. & Gribble, C.D. (eds.) 1983: Migmatites, melting and metamorphism. Shiva Publishing Limited. Cheshire.
- Bankwitz, P. 1994: Event related jointing in rocks on Bornholm island (Denmark). *Z. geol. Wiss.* 22, 97-114.
- Becke, F. 1892: Petrografische Studien am Tonalit der Riesenferner. *Min. Petr. Mitt. N. F.* 12, 378-464.
- Berthelsen, A. 1988: Bornholms fjeld. I S. Sjørring (red.): *Bornholms geologi I. VARV 1988(2)*, 36-43. København.
- Berthelsen, A. 1989: Bornholms geologi III: Grundfjeldet. *VARV 1989(1)*. København.
- Borreby, O.A. & Küster, P. 1793: Mineralogische Beschreibung von Bornholm, nebst einer Karte. *Schriften d. Gesells. naturf. Freunde zu Berlin* XI, 92ff.
- Bruun-Petersen, J. 1975: Origin and correlation of the sandstone dykes at Listed, Bornholm (Denmark). *Bull. geol. Soc. Denmark* 24, 33-44.
- Brown, G.C. & Fyfe, W.S. 1970: The production of granitic melts during ultrametamorphism. *Contr. Min. Petr.* 28, 310-318.
- Bubnoff, S. von 1931: Zur Deutung des südbaltischen Kluftnetzes. *Geol. Rund.* 22, 306-308.
- Bubnoff, S. von 1932: Der Hammergranit von Bornholm. *Fortschr. Geol. Pal.* 11(33), 1-24.
- Bubnoff, S. von 1938: Beiträge zur Tektonik des skandinavischen Südrandes I: Das Gefüge des Hammergranites auf Bornholm. *N. Jb. Min. Geol., Beilage* 79B, 274-384.
- Bubnoff, S. von 1942: Beiträge zur Tektonik des skandinavischen Südrandes II: Die älteren Granite Bornholms in Rahmen der svekofennischen Tektogenese. *N. Jb. Min. Geol., Beilage* 87B, 277-396.
- Bubnoff, S. von & Kaufmann, R. 1933: Zur Tektonik des Grundgebirges von Bornholm. *Geol. Rund.* 24, 379-389.
- Butzbach, J. 1996: Bornholm gennem 1700 millioner år. William Dams Boghandel A/S.
- Callisen, K. 1932: Beiträge zur Kenntniss des Granitgrundgebirges von Bornholm. Dissertation. University of Copenhagen. C.A.Reitzel. Kjöbenhavn.
- Callisen, K. 1934: Das Grundgebirge von Bornholm. *Danm. Geol. Unders., II Række, Nr. 50.* 266pp, 6 plates, 1 map.
- Callisen, K. 1956: Fragmenter og spor efter bjergarter ældre end graniten på Bornholm. *Medd. Dansk geol. Foren.* 13, 158-173.
- Callisen, K. 1957: Hornblende with pyroxene core in the Rønne-granit, Bornholm. *Medd. Dansk geol. Foren.* 13, 236-237.
- Carsrud, L. 1992: Geologiska sevärdigheter i Skåne. Sveriges geologiska Undersökning. Lund.
- Cohen, E. & Deecke, W. 1891: Über das krystalline Grundgebirge der Insel Bornholm. *IV. Jahresber. der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald* 1889-1890. Greifswald.
- Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussmann, J. 1992: An introduction to the rock-forming minerals. Second edition. Longman. England.
- Friis, H. 1996: A quartzite inclusion in Rønne-granit - the first danish sediment? *Bull. geol. Soc. Denmark* 43, 4-8.
- Gravesen, P. 1996: Geologisk set: Bornholm. En beskrivelse af områder af national geologisk interesse. Redaktion Steen Andersen. Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. Geografforlaget.
- Gry, H. & Micheelsen, H. 1962: 8.-10. august 1961. Ekskursion til Bornholm. *Medd. Dansk geol. Foren.* 15, 147-149.
- Hansen, M. & Poulsen, V. 1977: Geologie auf Bornholm. *VARV exkursionsführer nr. 1.* Kopenhagen.
- Hansen, P. 1970: Om Hammer- og Vang-granit, aplitter og pegmatiter og disse bjergarters magmatiske oprindelse. Unpublished thesis. University of Copenhagen.
- Hofmann, A. 1972: Chromatographic theory of infiltration metasomatism and its application to feldspars. *Am. J. Sci.* 272, 69-90.
- Holm, P.M. 1985: Bornholmske bjergarters temperaturer gennem tiden. K & Ar i mineraler. *VARV 1985(4)*, 117-125.
- Jensen, Aa. 1965: Hydrothermal alteration along thin veinlets in the Rønne granodiorite. *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 34(12), 11pp.
- Jensen, Aa. 1966: Mineralogical variation across two dolerite dykes from Bornholm. *Medd. Dansk geol. Foren.* 16, 369-455, 19 plates.
- Jensen, Aa. 1968: Opaque minerals in the Precambrian plutonic rocks of Bornholm and their relation to the development of these rocks. *Medd. Dansk geol. Foren.* 18, 79-96.
- Jensen, Aa. 1989: The Bjergbakke dyke - a kullaite from Bornholm. *Bull. geol. Soc. Denmark* 37, 123-140.
- Johansson, Å & Larsen, O. 1989: Radiometric age determinations and Precambrian geochronology of Blekinge, southern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Forhandlingar* 111, 35-50.
- Johnstrup, F. 1891: Abriss der Geologie von Bornholm als Führer zu der Exkursion der Deutschen Geologischen Gesellschaft nach der Insel Bornholm im Anschluss an die Allgemeine Versammlung in Greifswald 1889. *IV.*

- Jahresber. der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald 1889-1890. Greifswald.
- Jørgart, T. 1968a: Feldspats forekomstsmåde og mineralogiske egenskaber i Hallegård-granit og andre bornholmske graniter. Unpublished thesis. University of Copenhagen.
- Jørgart, T. 1968b: Hallegård-granitens petrologi. Unpublished thesis. University of Copenhagen.
- Jørgart, T. 1970: On the late formation of plagioklas in granitic rocks. *Bull. geol. Soc. Denmark* 20, 69-71.
- Jørgart, T. 1973: Metasomatisk dannelse af de bornholmske graniter - en test. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1972*, 77-84.
- Jørgart, T. 1977: Prækambrium. In: M. Hansen & V. Poulsen (red.): *Geologie auf Bornholm. VARV eksursionsführer nr. 1*, 8-32. Kopenhagen.
- Jørgart, T. 1979: Eksempler på databehandling af geologiske problemer ved hjælp af vektor- og matrixregning. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1978*, 23-31.
- Jørgart, T. 1982: Hallegård-graniten. Dens mineralogi, petrologi og sammenhæng med andre bornholmske graniter og gnejser. Publikationer fra Institut for Geografi, Samfundsanalyse og Datalogi: Forskningsrapport nr. 27. Roskilde Universitetscenter.
- Jørgart, T. 1993: The basement geology of Bornholm. An excursion guide. In: Scholle, T. & Krauss, M. (Redaktion): *Rügen-Bornholm. Kristallin, Structure und Sedimente am Südrand des Baltischen Schildes und dessen Beziehung zu Mitteleuropa. Internationale Exkursions- und Vortragstagung vom 05.-10.10.1993 auf Rügen und Bornholm. Exkursionsführer. Gesellschaft für Geowissenschaften e. V. Berlin in Zusammenarbeit mit Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald u.s.w.*
- Jørgart, T. 1995a: Løvehovederne, en ny lokalitet på Bornholm. *VARV 1995* (2), 47-53.
- Jørgart, T. 1995b: The basement geology of Bornholm. Part 1 of: 'Geology of the island of Bornholm (Denmark)' by T. Jørgart & A.T. Nielsen. Excursion A6. In: Katzung, G., Hüneke, H. & Obst, K. (Redaktion): *Geologie des südlichen Ostseeraumes - Umwelt und Untergrund*. 147. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft. Exkursionsführer. 4. bis 6. Oktober 1995. Terra Nostra. Greifswald.
- Jørgart, T. 1996: The basement geology of Bornholm. Publications from The Department of Geography and International Development Studies. Forskningsrapport nr. 105. 3. udgave. Roskilde University, Denmark.
- Jørgart, T. 1999: EXCEL-regnesark til brug for undervisningen i GeologiA.
- Kalb, G. 1914: Petrographische untersuchung am Granit von Bornholm. *Mitt. naturw. Ver. Neuvorpommern Rügen in Greifswald* 45, 43-86. 8 Tafeln.
- Katzung, G. & Obst, K. 1997: The sandstone dyke swarm of Vang, Bornholm. *Bull. Geol. Soc. Denmark* 44, 161-171.
- Kornfält, K.-A. & Bergström, J. 1991: Beskrivning till provisoriska, översiktliga berggrundskartan. Karlskrona. Sveriges geologiska Undersökning. Serie Ba 44. Uppsala.
- Korzhinskii, D.S. 1968: The theory of metasomatic zoning. *Mineralium deposita* 3, 222-231.
- Korzhinskii, D.S. 1970: *Theory of Metasomatic Zoning*. Clarendon Press. Oxford.
- Larsen, O. 1971: K/Ar Age determinations from Precambrian of Denmark. *Geol. Surv. Denmark. II Series. No. 97*.
- Larsen, O. 1980: Geologisk aldersbestemmelse ved isotopmålinger. *Dansk Natur-Dansk Skole. Årsskrift for 1980*, 89-106.
- Maaløe, S. 1992: Melting and diffusion processes in closed-system migmatization. *J. metamorphic Geol.* 10, 503-516.
- Mehnert, K.R. 1962: Composition and distribution of feldspars in magmatic and metamorphic rocks. *Norsk Geol. Tidsskr.* 42, 455-66.
- Mehnert, K.R. 1968: *Migmatites and the origin of granitic rocks*. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, London, New York.
- Micheelsen, H.I. 1960: Pegmatites in the Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark. *Int. Geol. Congr., 21. session, Norden 1960, Part 17*, 128-36.
- Micheelsen, H.I. 1961a: Leukogranites in the Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark. *Medd. Dansk geol. Foren.* 14, 297-307.
- Micheelsen, H.I. 1961b: Bornholms Grundfjæld. *Medd. Dansk geol. Foren.* 14, 308-349.
- Münther, V. 1945: Sprækkedale og diabasintrusioner på Bornholm. *Medd. Dansk geol. Foren.* 10, 641-645.
- Münther, V. 1957: Grænsen mellem graniten og Neksøsandstenen, belyst gennem magnetiske målinger. *Medd. Dansk geol. Foren.* 13, 254-255.
- Münther, V. 1973: Dominerende forkastningszoner på Bornholm. *Geol. Surv. Denmark. II Series. No 85*
- Noe-Nygaard, A. 1963: *The Precambrian of Denmark*. In: Rankama K. (ed.): *The Precambrian*, vol. 1. Interscience Publishers.
- Newton, R.C. 1986: Fluids of granulite facies metamorphism. In: J.V. Walther & B.J. Wood (eds.): *Fluid-rock interactions during metamorphism*. Chapter 2. Springer-Verlag. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo.
- Platou, S.W. 1968: On the petrophysical properties of granitic rocks. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 90, 427-433.
- Platou, S.W. 1970: The Svaneke-granit complex and the gnejses on East Bornholm. *Bull. geol. Soc. Denmark* 20, 93-113.
- Platou, S.W. 1971: Om grundfjeldet på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1970*, 54-63.
- Platou, S.W. 1972: Om anatexis og metasomatose på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1971*, 1-4.
- Powell, R. 1983: Processes in granulite-facies metamorphism. In: M.P. Atherton & C.D. Gribble (eds.): *Migmatites, melting and metamorphism*. Shiva Publishing Limited. Cheshire.
- Ramberg, H. 1951: Remarks on the average chemical composition of granulite facies and amphibolite-to-

- epidote amphibolite facies gnejses in west Greenland. Medd. Dansk geol. Foren. 12, 27-34.
- Rønso, J.G. 1970: En petrologisk undersøgelse af Hammer-graniten ved Olsker, Bornholm. Unpublished thesis. University of Copenhagen.
- Schroeder, E. 1994: Serge von Bubnoffs Beiträge zur Tektonik des skandinavischen Südrandes. Z. geol. Wiss. 22, 193-203.
- Schønemann, A. 1972: Magnetiske undersøgelser af nogle diabas-gange på Bornholm. Unpublished thesis. University of Copenhagen.
- Sharma, P.V. 1974: A note on seismic velocities of rock formations on Bornholm. Bull. geol. Soc. Denmark 23, 191-196.
- Sjørring, S. (red.) 1988: Bornholms geologi I. VARV 1988(2).
- Streckeisen, A. 1976: To each plutonic rock a proper name. Earth science reviews 12, 1-33.
- Symposium on Tornquist Zone geology: summaries of talks. Geologiska Föreningens i Stockholms Förhandlingar 106, 379-397.
- Ussing, N.V. 1899: Sandstensgange i Granit på Bornholm. Danm. geol. Unders. II Række, No. 10.
- Ussing, N.V. 1902: Mineralproduktionen i Danmark Aaret 1900. Danm. Geol. Unders. II Række, No. 12.
- Ussing, N.V. 1904: Danmarks Geologi. Danm. Geol. Unders., III Række, No. 2. Second edition.
- Ussing, N.V. 1910: Dänemark. Handbuch der regionalen Geologie, Bd. 1, Abt. 2.
- Vance, J.A. 1965: Zoning in igneous plagioklas: Patchy zoning. J. Geol. 73, 636-651.
- Vejbæk, O.V. 1984: Tectonic development of sedimentary basins offshore Bornholm. Symposium on Tornquist Zone geology: summaries of talks. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 106, 396-397.
- Vejbæk, O.V. 1985: Seismic stratigraphy and tectonics of sedimentary basins around Bornholm, southern Baltic. Danm. Geol. Unders. Serie A no. 8.
- Wikman, H. 1986: Den prekambiska berggrunden och de permo-karboniska diabaserna. In: Sivhed, U. & Wikman, H.: Beskrivning till berggrundskartan Helsingborg SV. Sveriges geologiska undersökning. Serie Af 149. Uppsala.
- Wikman, H. & Bergström, J. 1987: Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan, Malmö. Sveriges geologiska Undersökning. Serie Ba 40.
- Winkler, H.G.F. 1967: Die Genese der metamorphen Gesteine. 2. Auflage. Springer-Verlag.
- Winkler, H.G.F. 1976: Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Fourth edition. Springer-Verlag.
- Ørsted, H.C. & Esmarch, L. 1819: Beretning om en undersøgelse over Bornholms Mineralrige udført 1818 efter kongelig befaling gennem Rentekammeret. Det Schulziske Officin. Kjøbenhavn.
- Ørsted, H.C. & Esmarch, L. 1820: Beretning om en undersøgelse over Bornholms Mineralrige udført 1819 efter kongelig befaling gennem Rentekammeret. Det Schulziske Officin. Kjøbenhavn.