

Bornholms grundfjæld

The Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark

af

HARRY INGVAR MICHEELSEN

INDHOLDSFORTEGNELSE

Abstract.....	308
I Indledning.....	309
II Petrografi.....	309
a Bjergarternes mineralindhold.....	311
mørke mineraler, plagioklas, kalifeldspat	
b Indeslutninger.....	319
c Granitiske gangbjergarter i Rønne-granodioriten.....	321
d Pegmatiter, leukograniter og apliter.....	321
mikroklinperthit, plagioklas, texturer	
e Analyser.....	325
f Petrografisk udvikling.....	328
III Strukturer.....	331
a Hovedlinier.....	331
b Gnejs.....	333
c Paradisbakke-migmatit.....	335
d Hammer-granit.....	337
nordlige del, grænseforhold, Alminding området, små områder i gnejsen	
e Svaneke-granit.....	339
f Pegmatiter.....	340
dannet under dilatation, ved replacering, under selektiv resorption af sidestenen	
g Leukograniter.....	344
h Apliter.....	344
i Myloniter, sprækker og diabaser.....	344
IV Genese.....	346
Summary in English.....	347
Litteratur.....	348

Abstract

The Pre-Cambrian of Bornholm consists of granitic and granodioritic rocks. They were first formed as metasedimentary, hypersthene granodiorites (Rønne stage). Later they were granitized syn-kinematically to a varying degree at amphibolite facies conditions (Hammer stage). Pegmatites, leucogranitic patches, and aplites were formed during this granitization. The Svaneke granite in the eastern part of Bornholm was formed by post-kinematic granitization of the amphibolite facies rocks.

I. Indledning

Vor viden om det bornholmske grundfjæld er så mangelfuld, at dette arbejde kun må betragtes som en efemerisk sammenfatning af petrografiske og tektoniske oplysninger, der er indsamlet i andet øjemed.

Som følge af dette arbejdes ufuldstændige karakter, var det indtil for kort tid siden ikke min agt at publicere, før nogle nøgleområder var bearbejdet grundigere. Imidlertid har jeg bøjet mig for, at man fra flere sider, navnlig professor ARNE NOE-NYGAARD, professor ALFRED ROSENKRANTZ og lektor HENNING SØRENSEN, har foreholdt mig min pligt til at lade disse resultater komme frem til offentlig debat som følge af den store interesse, der er for det bornholmske grundfjæld.

Mange skylder jeg tak for hjælp under arbejdet. Min hustru, MARIANE MICHEELSEN, har hjulpet mig lige fra den første dag i felten til det sidste ark var skrevet rent. Hr. cand. polyt. IB SØRENSEN har udført mange spektralanalyser på mineralprøver, som frk. E. BØGGILD har separeret ud af bjergarter. Professor ARNE NOE-NYGAARD, professor ALFRED ROSENKRANTZ, professor CHR. POULSEN og lektor HENNING SØRENSEN har talrige gange hjulpet mig med råd og vejledning, blandt andet på ekskursioner til Bornholm. Cand. mag. MONA HANSEN, cand. mag. TOVE BIRKELUND og cand. mag. AAGE JENSEN har udført et stort arbejde med konstruktiv kritik af manuskriptet. Fru RAGNA LARSEN har udført tegningerne.

Jeg må beklage mikrobilledernes ringe kvalitet, som skyldes, at billederne er taget med et øvelsesmikroskop uden egnet apparatur til mikro-fotografering. Så meget mere er jeg hr. fotograf P. NIELSEN, Mineralogisk Museum, tak skyldig for det fortrinlige arbejde med positiverne.

II. Petrografi

Det bornholmske grundfjælds petrografi er beskrevet af K. CALLISEN (1934) så udførligt, som det lod sig gøre med den tids metoder. Nyere undersøgelsesmetoder, især universalbord, spektralanalyser og røntgenografiske finstrukturundersøgelser kan i dag give væsentlig flere og sikrere oplysninger. Selv om disse metoder endnu ikke er blevet fuldt udnyttet, vil der dog kunne gives en del supplerende oplysninger og en enkelt korrektion til K. CALLISENS grundlæggende arbejde. I det følgende benyttes K. CALLISENS resultater i så vid udstrækning, at det ikke har kunnet angives i hvert enkelt tilfælde.

I stedet for på sædvanlig vis at beskrive bjergarterne enkeltvis, vil jeg her anskue dem som aggregater af mineraler, hvis mængdeforhold, sammensætning og teksturer varierer. Ved at beskrive hvert enkelt mineral for sig opnås, at de processer, som jeg anser for at have været fundamentale ved det bornholmske grundfjælds genese, vil fremtræde tydeligst muligt. Bjergarterne og deres mineraler vil kun blive omtalt i det omfang, det skønnes nødvendigt for en tolkning af genesen.

De bornholmske graniters regionale fordeling ses på kortet fig. 1, som med små korrektioner er baseret på K. CALLISEN (1934).

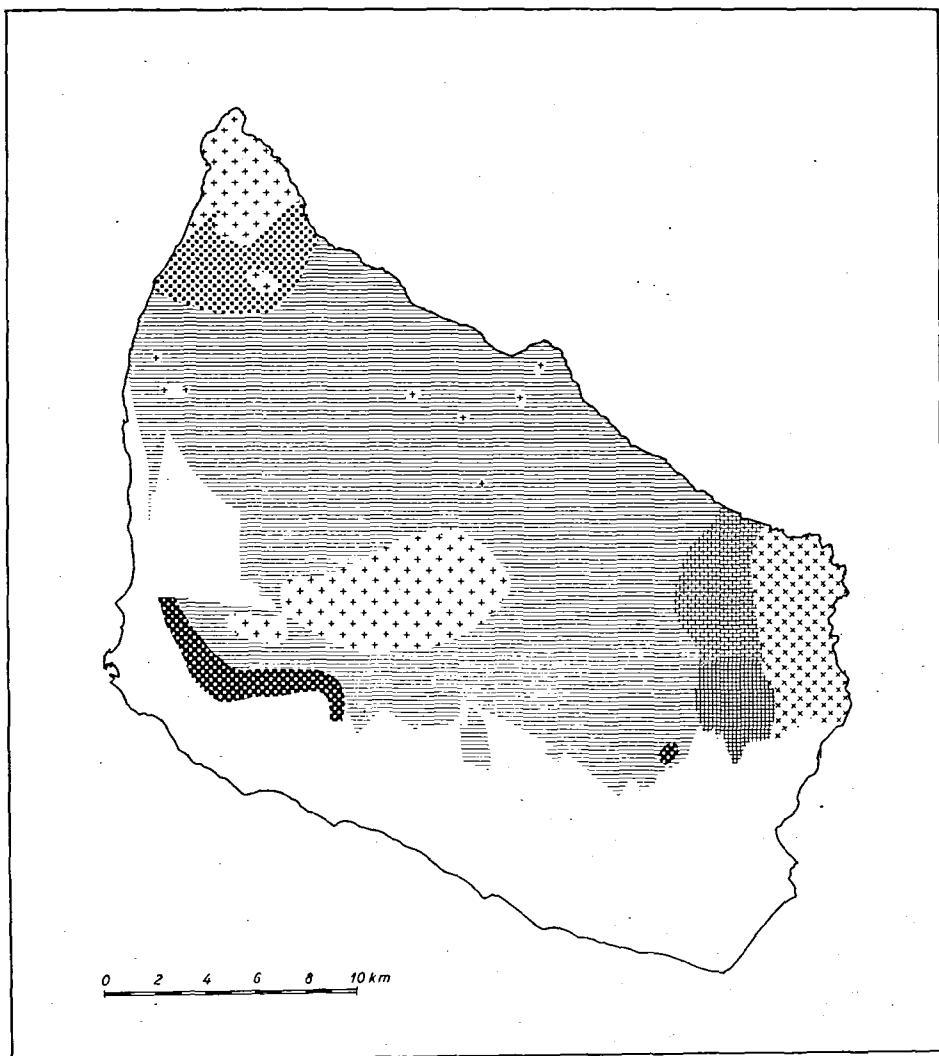


Fig. 1. Grundfjældets bjergarter på Bornholm. Kortet er baseret på K. CALLISEN, D.G.U. II Række Nr. 50, med enkelte ændringer.

a. Bjergarternes mineralindhold

Mineralindholdet i de forskellige bjergarter i det bornholmske grundfjæld ses i tabel 1, kolonnerne 2–11. For tallene gælder det forbehold, at alle bjergarterne varierer i sammensætning, idet der er gradvis overgang mellem de fleste. Kolonnernes numre henviser til de samme bjergarter i alle tabellerne.

Grænsen mellem granodiorit og granit trækkes i overensstemmelse med A. JOHANSEN (1931), d.v.s. hvor plagioklas og kalifeldspat findes i lige store mængder; den hypersthenførende bjergart fra Maegård, 3 km NØ for Hasle, Rønne-granodioriten og Paradisbakke-migmatitens mørke del er granodioriter, resten af bjergarterne er graniter. Ønsker man at anvende betegnelsen adamellit for bjergarter på overgangen mellem granit og granodiorit, d.v.s. i det område, hvor forholdet mellem mængderne af kalifeldspat og plagioklas varierer fra 0,35/0,65 til 0,65/0,35 bliver samtlige bjergarter undtagen Hammer-graniten til adamellit.

Taget under et vil jeg kalde de bornholmske bjergarter graniter.

Mørke mineraler

I Rønne-granodioriten findes biotit og hornblende som uregelmæssige — myrmekitiske — sammenvoksninger med kvarts samt ofte med kalkspat og magnetit, fig. 2 og 3, jfr. K. CALLISEN (1934, p. 34). Denne struktur har E. COHEN og W. DEECKE (1889–90) tolket som resultat af en omdannelse af en oprindelig pyroxen, og K. CALLISEN (1957) har siden beskrevet kærner af hypersthen og diopsid fra Rønne-granodioritens hornblende. I en mørk granodioritisk bjergart ved Maegård findes der stærkt omdannede — uralitiserede — rester af hypersthen fra kærnen i fuldstæn-

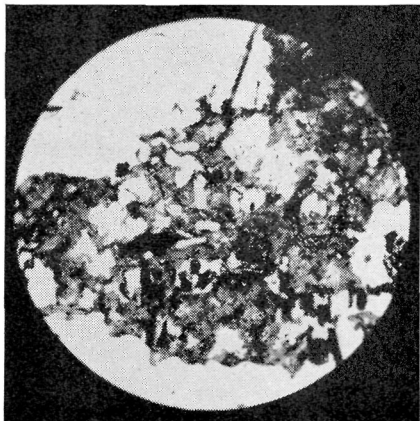


Fig. 2. Myrmekitisk sammenvoksning af kvarts (lys), hornblende (grå) og magnetit (sort). 1 nic., 28×. Rønne-granodiorit fra Klippeløkken stenbrud.

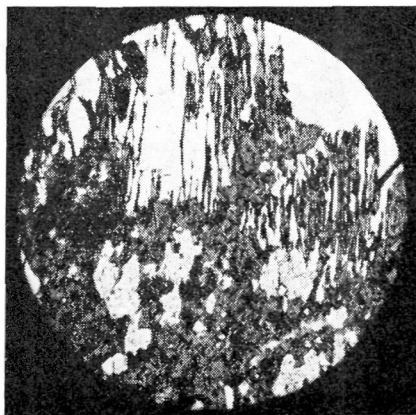


Fig. 3. Myrmekitisk sammenvoksning af kvarts (lys), biotit (mørke lister, foroven i billedet) og hornblende (mørk grå, forneden i billedet). 1 nic., 28×. Rønne-granodiorit fra Klippeløkken stenbrud.

Tabel 1.
Det bornholmske grundfjælds bjergarters procentvise indhold af mineraler.

	1 Hypersthen-grano- diorit fra Rønne- stadiet	2 Hypersthen- granodiorit, Maegård	3 Rønne-granodiorit	4 Rønne-granodiori- tens overgangs- zone	5 Paradisebakke- migmatit, mørke del	6 Mørk gnejs	7 Lys gnejs	8 Vang-granit	9 Hammer-granit	10 Svaneke-granit	11 Aplit, leukogranit, pegmatit	12 Tilført under Hammer-graniti- seringen
Kalifeldspat..... (perthit)	17	21	29	29	35	35	38	33	41	36	45-60	48
Plagioklas.....	40	33	30	33	25	24	22	22	18	26	10-20	13
Kvarts.....	10	18	21	25	23	25	30	27	33	25	30-40	38
Hypersthen.....	14	3	+	0	0	0	0	0	0	0	0	÷
Diopsid.....	6	?	+	0	0	0	0	0	0	0	0	÷
Hornblende.....	8	12	10	4	8	5	2	5	1	2	0-1	÷
Biotit.....	0	7	5	3	7	7	6	6	4	7	0-2	÷
Ti-magnetit.....	3	5	3	4	1	3	2	3	2	1	0-2	÷
Titanit.....	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	+	÷
Apatit.....	1	1	1	1	+	1	+	1	+	+	+	÷
Epidot.....	0	0	0	0	0	0	0	0	+	++	+	÷
Flusspat.....	0	0	+	+	+	+	+	+	++	++	++	++

Tallene angiver vægtprocent. + = forekommer undertiden. ++ forekommer almindeligt i små mængder. ÷ = bliver fjernet ved fuldstændig granitisering.

1 og 12: Tallene for disse to kolonner er her ligesom i de andre tabeller beregnet således, at de bornholmske bjergarter kan beskrives som en blanding af disse to hypotetiske sammensætninger. Yderligere svarer 12 nogenlunde til sammensætningen af de pegmatitter, som er dannet under dilatation, og 1 svarer til, at hypersthen-granodioriten fra Maegård er korrigeret for de ændringer, der er sket siden Rønne-stadiet.

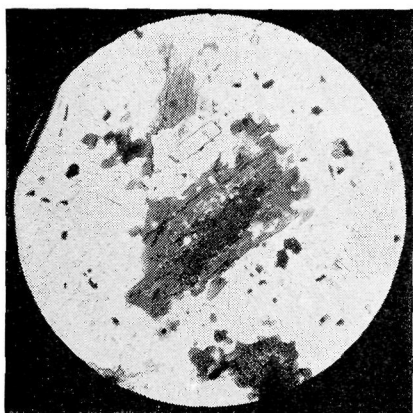


Fig. 4. Delvist omdannet hypersthen (mørk) som kærne i hornblendekrystal, der er myrmekitisk sammenvokset med kvarts. 1 nic., 28 \times . Hypersthen-granodiorit fra Mægård.

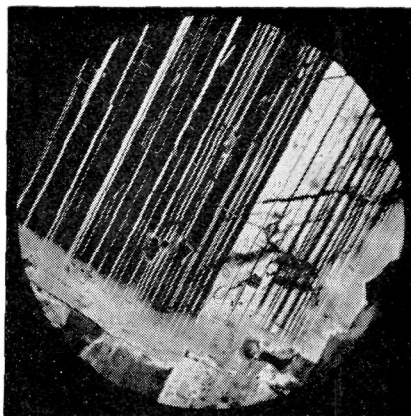


Fig. 5. Plagioklasphenokryst i Rønne-granodiorit. 2+nic., 28 \times . Plagioklaskornet består overvejende af labrador (54 % anorthit) og har en randzone, der på grund af lavere anorthitindhold (med til ca. 16 %) er lysere på billedet. Lok.: Klippeløkken stenbrud.

dig tilsvarende aggregater af hornblende og kvarts, fig. 4. Det må derfor antages, at det meste af Rønne-granodioritens hornblende og biotit oprindeligt har været hypersthen og diopsid. Hypersthen viser, at bjergarten er dannet under granulitfacies betingelser; omdannelsen af hypersthen og diopsid til biotit, hornblende og kvarts viser, at der er sket en reaktion under amfibolitfacies betingelser i forbindelse med tilførsel af kalium, d.v.s. under en granitisering.

Ifølge den tektoniske skitse, fig. 22, danner Rønne-granodiorit bunden i den bornholmske granitserie, og den hypersthenførende bjergart ved Mægård ligger godt halvvejs oppe i serien. Det vil sige, at i hvert fald de sydligste $\frac{2}{3}$ af granitområdet er dannet i granulitfacies. Granulitfaciesområdet har sandsynligvis omfattet hele Bornholm, thi så langt oppe i serien som nord for Tejn er der fundet en stor, meget bariumrig phenokryst af mikroklin (jfr. p. 318).

På forvitrede flader ser man, at Rønne-granodioritens mørke mineraler danner små, runde hobe; dette er især tydeligt i den nordlige del af Rønne-granodioritens område. De samme runde hobe af mørke mineraler er karakteristiske for Vang-graniten, og de genfindes i Hammer-graniten ved Olskirke og i Slotslyngen.

I de runde hobe er koncentrationen af mørke mineraler ca. 75 volumenprocent i Rønne-granodioriten, ca. 50 vol. % i Vang-graniten og ca. 20 vol. % i Hammer-graniten. Navnlig hornblenden forsvinder, idet mængdeforholdet mellem hornblende og biotit ændres fra 2:1 i Rønne-granodioriten til 1:5 i Hammer-graniten, hvad der afspejler tilførsel af kalium.

Vang-granitens hobe af mørke mineraler, der således formentlig stam-

mer fra omdannede pyroxenkorn, er runde ved Vang, men bliver mod syd og mod øst gradvist afladede og udtrukne, så de bliver langstrakt linseformede; de enkelte linser er parallelt orienterede, således at bjergarten får både foliation og lineation og derved bliver til gnejs.

I den bornholmske gnejs dominerer snart foliationen, f. eks. ved Bøls-havn, snart lineationen, f. eks. SØ for Gudhjem. Strukturforholdene er nærmere omtalt i kapitel III, hvor det også diskuteres, om foliationen er dannet under granulitfacies perioden eller senere.

Plagioklas

Den overgang fra granulitfacies til amfibolitfacies, som afspejles i hypersthenens omdannelse, har også sat sine tydelige spor i feldspaterne. Plagioklaskornene i de bornholmske graniter er tydelig zonart opbyggede, idet de har en randzone bestående af albitrigere plagioklas eller af mikroklin (tabel 2 og fig. 5).

I de mørke bjergarter indeholder plagioklaskornenes kærner 28–30 % anorthit — se tabel 2. I hypersthen-granodioriten fra Mægård og i store korn i Rønne-granodioriten går anorthitindholdet i kærnen helt op til 35–40 %, undtagelsesvist op til 54 %. I disse bjergarter indeholder plagioklasens randzone kun 15–22 % anorthit svarende til, at der må være sket en delvis albitisering af bjergarten. Hvor albitiseringen er gået videre, som i den lyse gnejs (f. eks. lidt nord for Sandkås) og i Hammer-graniten, falder anorthitindholdet i plagioklaskærnen ned til 15–18 %. Yderligere bliver zonariteten mindre udtalt, idet randzonen, som har 8–12 % anorthit, er tyndere; undtagelsesvis består randen af ren albit.

Sammensætningen af plagioklaskornenes kerne varierer kontinuert fra Rønne-granodiorit til Hammer-granit; ligeledes varierer også sammensætningen af plagioklasens randzone. Yderligere har plagioklasens kerne omtrent det samme anorthitindhold i Hammer-graniten, som randzonen har i de mørke bjergarter. Disse forhold viser, at albitiseringen af det bornholmske grundfjæld står i nøje sammenhæng med Hammer-granitens dannelse. Da også de tektoniske forhold (p. 337) viser, at Hammer-graniten er dannet ved granitisering af sribet gnejs og Vang-granit, vil denne granitisering blive kaldt »Hammer-granitiseringen«.

Det bornholmske grundfjælds bjergarter har således oprindeligt haft ca. 40 % anorthit i plagioklasen; at dømme ud fra pegmatiterne, p. 323, har den plagioklas, der er blevet tilført under Hammer-granitiseringen, indeholdt ca. 8 % anorthit.

I de store korn (2–20 mm), som findes rundt om i Bornholms graniter, er plagioklasen ofte omdannet under udskillelse af talrige, små, nåleformede korn med parallel udslukning, høj lysbrydning og høj dobbeltbrydning, fig. 6. Disse nåle består muligvis af zoisit. Da anorthitindholdet i disse plagioklaskorn er 22–28 %, tyder zoisit ifølge H. RAMBERG (1952) på kemisk omdannelse i epidot-amfibolitfacies tæt ved grænsen mod amfibolitfacies. Denne lave dannelsestemperatur kan tyde på, at zoisitseringen (som dog ikke er sikkert fastslået) ikke er foregået under Hammer-granitiseringen, men under den senere Svaneke-granitisering, jfr. p. 339.

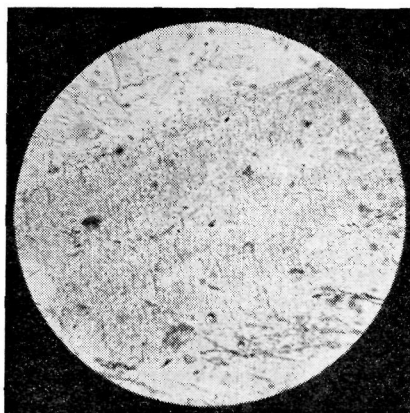


Fig. 6. Pigment fra plagioklaskorn. 1 nic., 126 \times . Hypersthen-granodiorit ved Mæ-gård.

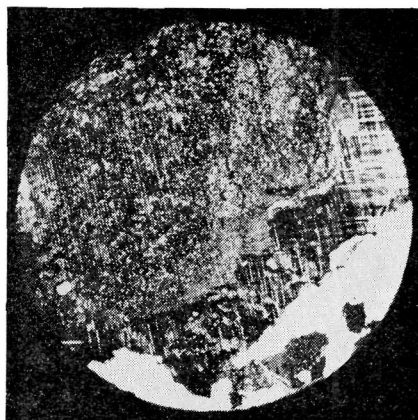


Fig. 7. Plagioklas med mikroklinrand. Plagioklasen har talrige små indeslutninger (lyse prikker). 2+ nic., 28 \times . Rønne-granodiorit fra Klippeløkken stenbrud.

Makroskopisk fremtræder disse plagioklaskorn som matte, gullige eller grågrønne pletter, der ofte har en lys rødlig mikroklinrand — se fig. 7. I Rønne-granodioriten har plagioklasen ikke undergået denne omdannelse undtagen nær ved myloniter.

Spektralanalyser viser, at plagioklasen i de bornholmske bjergarter har et varierende indhold af strontium (30–600 ppm).

Plagioklasen er altid tvillingdannet efter albitloven, fig. 5; periklin-tvillinger forekommer undertiden. I samtlige tilfælde er der fundet lavtemperatur-optik (W. E. TRÖGER 1956).

Svaneke-granit, apliter, leukograniter og pegmatiter afviger noget fra den ovenfor givne fremstilling og vil blive diskuteret senere.

Kalifeldspat

I det bornholmske grundfjelds bjergarter findes kalifeldspaterne mikroklin, adular og orthoklas.

Alle opgivelser er baseret på optiske undersøgelser og på spektralanalyser; finstrukturundersøgelser vil sikkert ændre opfattelsen på flere punkter.

Mikroklinperthit er den almindeligste feldspat på Bornholm. Mikroklinens aksevinkel $2V_x$ varierer fra 65° – 90° , hvad der svarer til et albitindhold på 0–54%. Målingerne er meget usikre, og de enkelte bjergarter udviser ret stor variation, ofte halvdelen af det angivne interval. Det ser ud til, at den sidst dannede mikroklin har lavest albitindhold, thi som helhed gælder det, at graniterne har større albitindhold i mikroklinen end pegmatiter og leukograniter.

I graniterne forekommer mikroklin på tre måder: 1) som store korn (1–4 mm) fig. 8, 2) som små korn i grundmassen (ca. 0,05–0,3 mm), 3) som

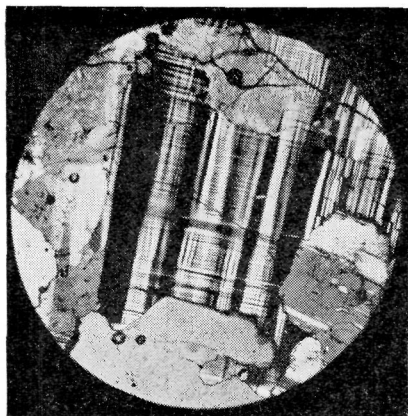


Fig. 8. Mikroclin, kvarts og plagioklas (til højre) fra pegmatit i Rønne-granodiorit. Kvartsen korroderer mikroklinen. $2 + nic.$, $28 \times$. Lok.: Stenbrud ved Knudske fattiggård.

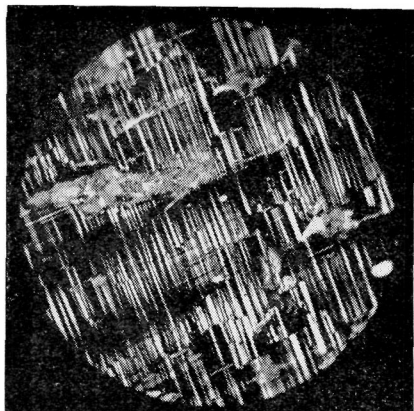


Fig. 9. Mikroclin fra pegmatit i Svaneke-granit. $2 + nic.$, $28 \times$. Mikroklinkornet har en sådan orientering, at det ene sæt tenformede tvillinger ses tydeligt, medens det andet sæt kun ses i ringe grad. Mikroklinen indeholder små, uregelmæssige kvartskorn. Lok.: Kysten nord for Nexø.

rande på de store feldspatkorn fig. 7. Den mikroclin, der findes i de små korn og i randene, har samme sammensætning. Den blev øjensynligt dannet ved tilførsel af feldspatmateriale, efter at de store korn var dannet, d.v.s. tilført sammen med albit som et led i Hammer-granitiseringen. Det er uvist, om de store korn i den oprindelige bjergart bestod af mikroclin eller af orthoklas, som siden er omdannet til mikroclin under granitiseringen. Mikroklinen i grundmassen og i randzonerne minder om mikroklinen i pegmatiter og i leukograniter ved at være myrmekitisk eller skriftgranitisk sammenvokset med kvarts.

I samtlige bornholmske graniter findes $1/2$ –1 cm store mikroclinphenokryster, som undertiden indeholder store mængder fint skællet sericit.

Adular findes oftest i store, spredte korn med mikroclin tilvokset i randen, især i de mørke bjergarter¹⁾. I Rønne-granodioriten har den $2V_x = 75^\circ$ – 86° svarende til et albitindhold på ca. 23–48%, d.v.s. det samme som Rønne-granodioritens mikroclin.

Orthoklasperthit er fundet i enkelte korn i Rønne-granodioriten (K. CALLISEN, 1934).

Store plagioklaskorn i Rønne-granodiorit, Paradisbakke-migmatit og Vang-granit kan udvise en ejendommelig, plettet udslukning i de centrale

¹⁾ Ved adular vil jeg her forstå en optisk monoklin kalifeldspat med $z \neq b$ og $2V_x$ over 70° . Ved orthoklas forstås jeg en tilsvarende feldspat med $2V_x$ mindre end 70° , jfr. W. E. TRÖGER (1956). Den bornholmske adular er sandsynligvis mikroclin med submikroskopisk tvillingstruktur; thi den har en »ulden« udslukning, der må skyldes, at krystallerne er opbyggede af meget små (ca. $1/1000$ mm) diffust afgrænsede områder, som med krydsede nicoller slukker ud nogle få grader fra hinanden.

Tabel 2
Plagioklasens anorthit-indhold og kalifeldspatens barium-indhold i de bornholmske grundfjældsbjergarter.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ³⁾	12
	Hypersthen-granodiorit fra Rønne-stadlet	Hypersthen-granodiorit, Mægård	Rønne-granodiorit	Rønne-granodioritens overgangszone	Paradisbakke-migmatit, mørke del	Mørk gnejs	Lys gnejs	Vang-granit	Hammer-granit	Svaneke-granit	Aplit, leukogranit, pegmatit	Tilført under Hammer-granitseringen
Anorthit % i plagioklas ¹⁾ :												
kærne.....		37	30		29	28	24	29	16	23	8-23	10
rand.....		20	20		20	14	14	17	10	14	2-18	2
middel.....	39	35	28	23	25	24	19	23	14	19	8-20	8
Barium i kalifeldspat i ppm (ppm = dele per million) ²⁾	7500	6000	5000		4000	3500	3000	3000	2000	2500	50-4000	50

¹⁾ Plagioklasens anorthit-indhold er bestemt på universal-drejebord med en nøjagtighed på $\pm 2\%$ anorthit. Tallene er middelværdier.

²⁾ Barium-indholdet i kalifeldspaten er bestemt af hr. cand. polyt. Ib SØRENSEN, Mineralogisk Museum. I de fleste tilfælde er tallene middelværdier af flere bestemmelser, som hver for sig har en relativ nøjagtighed på $\pm 25\%$. Da bestemmelserne er semikvantitative, er den absolute usikkerhed dog $+100\%$ og $\div 50\%$.

³⁾ Resultaterne for bjergarterne i kolonne 11 ses mere detaljeret i tabel 3.
Angående kolonnerne 1 & 12 se tabel 1.

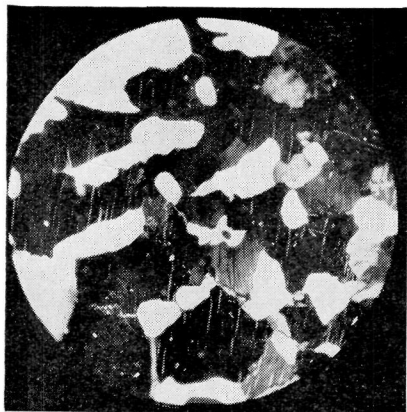


Fig. 10. Skriftgranitisk sammenvoksning af mikroklinperthit (mørk) og kvarts (lys) Hammer-granit. 2 + nic., 28 ×. Lok.: Olskirke.



Fig. 11. Antiperthit bestående af plagioklas (tvillingstriber) med uregelmæssige, mørke pletter af orthoklas. Feldspaten er korroderet af kvartskorn. 2 + nic., 28 ×. Ronne-granodiorit. Lok.: Klippeløkken stenbrud.

dele, fig. 11. I disse pletter kan albit-tvillingerne ikke ses, og de er derfor af K. CALLISEN (1934) fortolket som områder med ca. 20 % anorthit. Drejebordsmålinger viser imidlertid, at der er tale om en monoklin feldspat med $2V_x = 38^\circ \pm 2^\circ$ og formentlig $z \neq b$. Da dette er orthoklas med kun ca. 6 % albit, er plagioklasen antiperthitisk (W. E. TRÖGER, 1956).

De bornholmske kalifeldspater har et indhold af barium, som viser meget karakteristiske variationer — se tabel 2.

Ronne-granodioritens svagt påvirkede feldspat indeholder ca. 5000 ppm Ba, og den primære, granulitfacies-bjergart (kolonne 1) må have haft 7000–8000 ppm Ba, jfr. p. 317. Det laveste barium indhold — 50 ppm — findes i mikroklinen fra pegmatiter, som er dannet under dilatation, se p. 322. Disse pegmatiters dannelse forudsætter, at alt materialet er blevet tilført under Hammer-granitseringen, og deres sammensætning må følge lig være tilnærmet lig med sammensætningen af den disperse ikke forurene fase, som har forårsaget granitseringen. Heraf følger, at alle kalifeldspater med højere bariumindhold end 50 ppm må have fået en del af deres materiale fra granulitfacies bjergarternes feldspater. Man kan således direkte ud fra bariumindholdet beregne, hvor stor en del af feldspaten der er taget fra den oprindelige feldspat, og hvor meget der er tilført. På denne måde fås et mål for granitseringens intensitet — en granitseringsprocent — som for graniternes vedkommende stemmer nogenlunde overens med granitseringsgraden beregnet på grundlag af ændringer i anorthitindhold og mineralkoncentrationer (tabel 7).

I en sribet Vang-granit fra Ålbæk Nakke ved Tejn er der fundet en mørkegrå 10 cm stor mikroklinphenokryst med 10.000 ppm barium. I Ronne-granodioriten er der fundet en del 5–30 cm store phenokryster af



Fig. 12. Mikroklinperthit i rød »admiral« fra Rønne-granodiorit. 2 + nic., 28×. Lok.: Klippeløkken stenbrud.

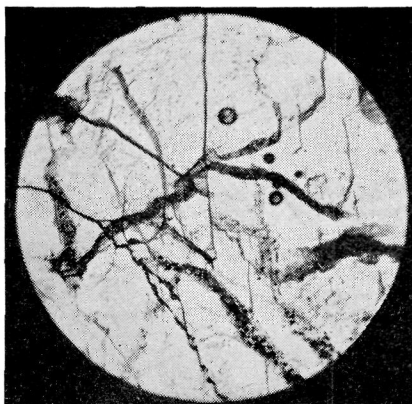


Fig. 13. Rødt pigment i mikroklin fra pegmatit i Rønne-granodiorit. Pigmentet ses som uregelmæssige bælter af små, mørke pletter. 1 nic., 28×. Lok.: Stenbrud ved Knudsker fattiggård.

mikroklin, kaldet »admiraler«, fig. 12. De er oftest røde og har et bariumindhold på 2000–3000 ppm. En enkelt, mørkegrå phenokryst, der indeholder 5000 ppm barium, svarer nærmere til Rønne-granodioritens feldspat. Disse forhold tyder på, at mikroklinphenokrysterne er dannet samtidigt med Rønne-granodioriten – i Rønne-stadiet — og at de i mange tilfælde siden er blevet omdannet til rød mikroklin ved replacering under Hammerstadiet. Mikroklinens røde farve skyldes små, uregelmæssige partier af et rødt, antagelig ferriholdigt pigment — fig. 13.

b. Indeslutninger

Selvom graniterne på Bornholm som helhed må siges at være meget fattige på indeslutninger af bjergarter ældre end graniterne selv, er der dog beskrevet en del eksempler, især af K. CALLISEN (1934 og 1956).

Blandt de mest bemærkelsesværdige er en forekomst af skarnbjergarter med granat, wollastonit og diopsid i gnejs nær Listed.

Kvartsit er fundet i gnejs lidt vest for Gudhjem og mellem Upnasted og Bølshavn, samt i Paradisbakke-migmatit i Præstebo stenbrud. En kvartsit indeslutning, der i randen er delvis omdannet til Rønne-granodiorit er fundet ved fattighuset VSV for Knudskirke.

Amfibolit indeslutninger er almindelige i alle bjergarterne; den største forekomst er fundet af A. NOE-NYGAARD lidt SV for Grydesø i Paradisbakkerne.

Glimmerskifer er kendt fra Vang-graniten.

I nærheden af Listed er der et par steder fundet finkornede, lagdelte gnejser, hvor lagenes sammensætning varierer fra kvartsitisk gnejs til glimmerskifer. Gnejser af denne type kaldes leptiter. De er formentlig

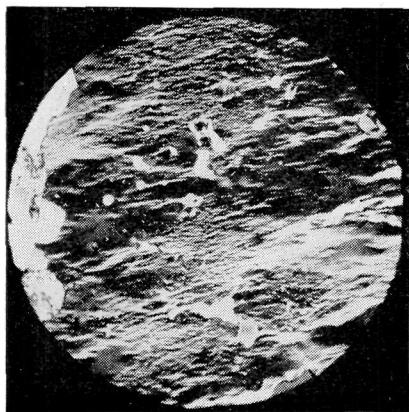


Fig. 14. Orthoklasperthit fra granitgang i Rønne-granodiorit. 2 + nic., 28 \times . Orthoklasen er mørk og albitindeslutningerne lyse. Til venstre i billedet ses kvarts. Lok.: Klippeløkken stenbrud.

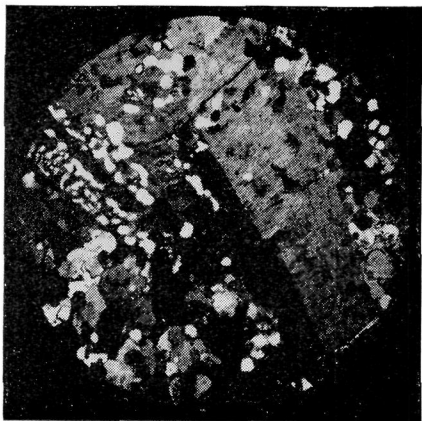


Fig. 15. Carlsbad-tvilling af orthoklasperthit, som til venstre i billedet er myrmekitisk sammenvokset med kvarts. Finkornet randzone af granitisk gang i Rønne-granodiorit. 2 + nic., 28 \times . Lok.: Klippeløkken stenbrud.

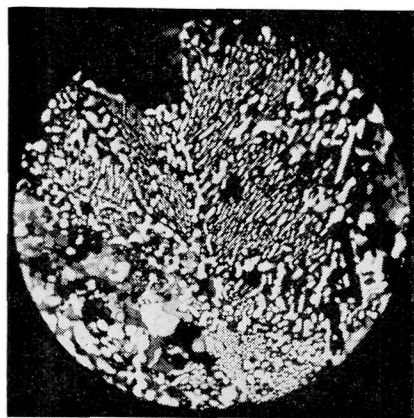


Fig. 16. Myrmekitisk sammenvoksning af orthoklas (sort) og kvarts (lys) fra finkornet grænsezone på granitisk gang i Rønne-granodiorit. 2 + nic., 28 \times . Lok.: Klippeløkken stenbrud.

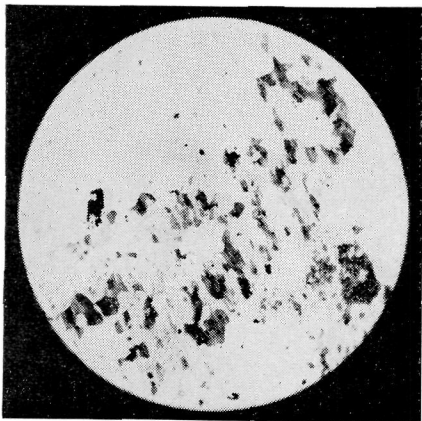


Fig. 17. En gruppe af små, parallelt orienterede korn af hornblende, adskilt af kvarts. Finkornet randzone af mørkegrå granitisk gang. 1 nic., 28 \times . Rønne-granodiorit fra Klippeløkken stenbrud.

opstået ved granitisering af en båndet sedimentserie. Leptiterne danner liggende folder, hvis foldningsakse og akseplan er parallelle med henholdsvis lineation og foliation i den omgivende gnejs.

Mange af disse indeslutninger må være af sedimentær oprindelse. Følgelig er det bornholmske grundfjæld sandsynligvis opstået ved metasomatisk omdannelse i granulitfacies af sedimentær til granodioriter, som siden er blevet granitiseret.

Tabel 3
Mørkegrå granitgang fra Rønne-granodiorit, mineralindhold i vol %, mineralsammensætning i mol %

	Mørkegrå granitgang	Finkornet randzone af mørkegrå granitgang	Rønne-granodiorit
Orthoklasperthit	55	65	2
Mikroklinperthit	0	0	27
Plagioklas	20	1	30
Kvarts	20	25	20
Hornblende	3	6	10
Biotit	2	0	5
Malm, m. m.	1	2	5
Kalifeldspatens albitindhold	ca. 23 %	ca. 37 %	ca. 40 %
Plagioklasens anorthitindhold:			
kærne	32 %		30 %
rand	23 %		20 %

c. Granitiske gangbjergarter i Rønne-granodioriten

I Rønne-granodiorit i Klippeløkken stenbrud har jeg fundet en mørkegrå, uregelmæssig gang, som er granitkornet i de centrale dele og aplitisk i randzonen. Mineralernes mængdeforhold og deres sammensætning fremgår af tabel 3. Hovedmineralet er orthoklasperthit med bølgende, tenformede indeslutninger af albit, fig. 14 og 15. Den har $2V_x = 53^\circ-57^\circ$ svarende til ca. 23 % albit i den mest grovkornede, yngste del og op til 37 % albit i den finkornede, marginale del af gangen, som antagelig er dannet først. Denne orthoklasperthit findes tildels myrmekitisk sammenvokset med kvarts, fig. 16.

Hornblendens findes som grupper af små, parallelt orienterede korn, fig. 17, som må være rester af store, korroderede hornblendekrystaller af den type, der findes i Rønne-granodioriten.

Denne granitiske gang må antagelig sammenlignes med leukograniterne i de lysere bornholmske bjergarter, blot er den knyttet til den mørke Rønne-granodiorit i kraft af mineralernes sammensætning og koncentration.

Gangen er ældre end Hammer-granitiseringsens slutfase, da den skæres af en pegmatitgang, og sandsynligvis er den dannet under Rønne-stadiet. Hornblendens tekstur tyder på, at gangen er dannet ved replacering.

d. Pegmatiter, leukograniter og apliter

Pegmatiter, leukograniter og apliter er leukogranitiske bjergarter — de har et ringe indhold af mørke mineraler (gennemsnitligt ca. 1 %). De



Fig. 18. Leukogranit. 2 + nic., 7 \times . Mineralerne er mikroklin, kvarts og lidt plagioklas (et lille korn $\frac{1}{2}$ radius SV for centrum). Bemærk de uregelmæssige korngrænser. Lok.: Olskirke.



Fig. 19. Aplit fra Hammer-granit. 2 + nic., 28 \times . Mineralerne er mikroklin, kvarts og plagioklas, som næsten ikke er zonar. Lok.: Olskirke.

tre bjergarter kendetegnes ved deres forskellige kornstørrelse: Pegmatiter har væsentlig større kornstørrelse end værtsbjergarten, leukograniter har makroskopisk samme kornstørrelse som værtsbjergarten, og apliter har makroskopisk væsentlig mindre kornstørrelse end værtsbjergarten. De bornholmske graniter har to dominerende kornstørrelser — en bimodal kornstørrelsesfordeling. De store korn i graniten bestemmer den makroskopiske kornstørrelse (1–3 mm), som svarer til leukograniternes kornstørrelse. De fine korn (0,05–0,2 mm), som danner en grundmasse mellem granitens store korn, har samme størrelse som apliternes korn.

De leukogranitiske bjergarter består normalt af 45–60 % mikroklinperthit, 10–20 % plagioklas og 30–40 % kvarts; fig. 18 og 19.

Mikroklinperthit

Mikroklinperthiten, som ofte er myrmekitisk sammenvokset med kvarts, indeholder fra 0–40 % albit og fra 50–5000 ppm barium, (tabel 3). Bariumindholdet er mindst i de pegmatiter, som er dannet ved at en revne i værtsbjergarten har åbnet sig under pegmatitens vækst — under dilatation. I sådanne pegmatiter må alt materialet være tilført. Den kalifeldspat, som er tilført under Hammer-granitiseringsen, må derfor have været meget fattig på barium (50 ppm). I pegmatiter, som er dannet ved replacering af værtsbjergarten eller under selektiv resorption af denne (se p. 342), har mikroklinperthiten et bariumindhold, som varierer i størrelse fra $\frac{1}{4}$ – $\frac{4}{5}$ af værtsbjergartens. Dette bariumindhold må stamme fra værtsbjergartens feldspat, og bariumindholdet kan derfor bruges som mål for,

hvor stor en del af pegmatitens mikroklinperthit, der stammer fra værtsbjergarten, og hvor stor en del, der er blevet tilført.

Bariumindholdet i pegmatiterne siger dog intet om, hvor den gamle feldspat er taget fra. Det er altså ikke muligt at afgøre, om bariumindholdet stammer fra den feldspat, som sad, hvor pegmatiten nu sidder, eller om det er feldspat, der er gået i opløsning langt fra pegmatiten under dannelsen af randzonerne på værtsbjergartens feldspatkorn. Det samme gælder leukograniter og apliter.

I Rønne-granodioriten findes nogle pegmatiter, som er dannet under selektiv resorption af sidestenen. Deres bariumindhold er forholdsvis lavt ($1/10$ - $1/5$ af Rønne-granodioritens), hvad der muligvis skyldes lavere dannelsesstemperatur end i gnejsen (sml. pegmatiternes regionale fordeling p. 341).

Som vist i tabel 4, har leukograniternes mikroklinperthit et bariumindhold, som er større end pegmatiternes og næsten lig med bariumindholdet i værtsbjergartens mikroklinperthit. Dette er forståeligt, da de strukturelle forhold viser, at leukograniter er dannet ved replacering.

Med hensyn til mikroklinens barium svarer apliterne nærmest til pegmatiter, dannet ved replacering eller ved selektiv resorption af sidestenen. Hammer-granitens randaplit har et ret lavt bariumindhold. Det skyldes sikkert, at feldspaten i den omgivende granit er blevet knust fint ned under den bevægelse, som forårsagede applitens dannelse (se p. 337), og at der på grund af de meget små brudstykker har været god mulighed for kemiske ændringer.

Plagioklas

Anorthitindholdet i plagioklasen følger bariumindholdet i mikroklinen. Således er der et lavt anorthitindhold i pegmatiter dannet under dilatation (8-10 %, lejlighedsvis lavere). Pegmatiter, som er dannet ved replacering eller selektiv resorption af sidestenen, har større anorthitindhold i plagioklasen, svarende til at kun 30-60 % af materialet er tilført.

Plagioklasens anorthitindhold i apliter og leukograniter svarer ret nøje til anorthitindholdet i randzonen på værtsbjergartens plagioklas. Disse randzoner, apliter og leukograniter er alle fremkommet som resultat af en replacering (en granitisering), og overensstemmelsen i plagioklasens sammensætning må derfor tages som udtryk for, at de er omtrent samtidige. Randzonerne er dannet som et led i Hammer-granitiseringen, og man kan således slutte, at leukograniter og apliter ligeledes er dannet under denne granitisering. Fuldstændig de samme betragtninger kan gøres over pegmatiter, som er dannet ved replacering eller under selektiv resorption af sidestenen (se p. 342). Pegmatiter dannet under dilatation viser ikke sådan overensstemmelse; deres lave anorthitindhold skyldes, at alt materialet er tilført. Sålange vi ikke kender mere til Bornholms geologi, må man regne med, at alle Bornholms pegmatiter er samtidige. Denne antagelse sandsynliggøres yderligere ved den regionale fordeling af pegmatittyperne (se p. 341).

Tabel 4

Indholdet af barium i kalifeldspaten og anorthit i plagioklasen i de leukogranitiske bjergarter på Bornholm.

Værtsbjergart:	Rønne-grano-diorit	Paradis-bakke-migmatit	Gnejs og Vang-granit	Hammer-granit	Svaneke-granit
Bariumindhold i ppm i kalifeldspaten:					
Værtsbjergarten:					
variationsbredde.....	3000-5000	2000-6000	2000-5000	2000-2500	2000-3000
middel af flere målinger....	5000	4000	3000	2000	2500
Aplit.....			2000-3000	600-1000	
Leukogranit.....		2000-5000	2000-5000	2000	
Pegmatit dannet ved replace-ring.....		400-1000		800-2000	
Pegmatit dannet ved selektiv resorption af sidestenen....	300-500		600-3000		} 200-800
Pegmatit dannet under dilatation.....	50-100	50		100	
Anorthitindholdet i % i plagioklasen:					
Værtsbjergarten:					
kærne.....	28-32	26-29	23-28	14-18	23
rand.....	20-22	20	14-20	8-12	10-16
Aplit.....			14-20	12-16	
Leukogranit.....		18-22	18-23	10-14	
Pegmatit dannet ved replace-ring.....				12	
Pegmatit dannet under selektiv resorption af sidestenen....			14-23		} 6-13
Pegmatit dannet under dilatation.....	10			4-10	

Bariumindholdet er bestemt semikvantitativt med en nøjagtighed på 25 % relativt; analytiker er cand. polyt. Ib SØRENSEN. Anorthitindholdet er bestemt optisk med en nøjagtighed på $\pm 2\%$ anorthit.

Texturer

Mange pegmatiter er zonart opbyggede; andre pegmatiter samt leukograniter og apliter har ens sammensætning hele vejen igennem. Zonariteten kan ligesom kornstørrelsen kun forklares ved at tage dannelsesmåde og dannelsesetidspunkt i betragtning.

Pegmatiterne er dannet under Hammer-granitiseringsens slutfase; den store kornstørrelse må formentlig være resultatet af, at stoffernes transportforhold er blevet væsentligt forbedret mod slutningen af granitiseringen. Dette plejer man at forklare som en følge af forøgede mængder af fluor, vand og andre opløsningsmidler (se f. eks. A. NOE-NYGAARD, 1957).

Pegmatiternes randzone er relativt finkornet, idet pegmatiterne margi-

nalt har omtrent samme kornstørrelse som værtsbjergarten. Det er en følge af, at pegmatiternes mineraler har vokset som en direkte fortsættelse af sidestenenens mineraler; thi dette må have været tilfældet, hvad enten pegmatiterne er vokset på væggen af en sprække — under dilatation — eller ved at replacere værtsbjergarten.

Zonaritet findes især i de pegmatiter i Rønne-granodioriten, som er dannet under dilatation, men er også ganske almindelig i små uregelmæssige pegmatitlegemer, som er dannet under total replacering.

Under gunstige omstændigheder kan man i pegmatiterne skelne mellem følgende zoner, som går gradvis over i hinanden: 1) En kontaktzone bestående af skriftgranitisk sammenvoksninger af mikroklin og plagioklas med kvarts. 2) Skriftgranitisk mikroklin. 3) Kvarts + mikroklin (ikke skriftgranitisk). 4) En kvartskærne. Disse zoners rækkefølge svarer til den normale succession i pegmatiter (E. N. CAMERON m. fl. 1949).

Zonariteten viser, at feldspaten overvejende er udskilt først, kvartsen sidst. Dette er i overensstemmelse med F. K. DRESCHER-KADENS (1942) tolkning af skriftgranit: den er opstået, ved at kvartsen har replaceret den ældre feldspat.

Pegmatiter, som er dannet ved selektiv resorption af sidestenen, består i almindelighed udelukkende af skriftgranitisk mikroklin og skriftgranitisk plagioklas og har kun ganske sjældent en kærne af kvarts. Det kan tyde på, at den selektive resorption er foregået samtidig med dannelsen af marginalzonen i de zonare pegmatiter, der altså som helhed er yngst.

Leukogranitterne er dannet under Hammer-granitiseringen ved replacering af værtsbjergarten (se p. 336); de enkelte korn, og dermed kornstørrelsen, er sandsynligvis relikter fra den replacerede bjergart.

Leukograniternes dannelse under selve granitiseringen viser, at bjergarter med leukogranitisk sammensætning er Hammer-granitiserings stabile slutprodukt. Hammer-granitiseringen er således egentlig en leukogranitisering i modsætning til den yngre Svaneke-granitisering (se p. 340); thi Svaneke-graniten, som har ca. 10 % mørke mineraler, replacerer pegmatiter, som er ældre end graniten.

Mange apliter er dannet ved granitisering af bevægezoner. Bevægezoner, f. eks. myloniter, er meget finkornede, og en videre vækst af mineralerne har derfor kunnet ske fra mange og tæt placerede centre, således at granitiseringsproduktet — apliterne — blev finkornet.

Andre apliter er dannet uden tilknytning til myloniter. Disse apliter har oftest et uregelmæssigt afrundet omrids, og de har en svag foliation, der er parallel med omgivelsernes. De er sandsynligvis dannet ved replacering af indeslutninger af en finkornet bjergart, f. eks. kvartsit.

e. Analyser

Hammer-granitiseringen afspejles også i de kemiske analyser.

Ud fra bjergartsanalyserne hos K. CALLISEN (1934) er feldspaternes normer beregnet ved hjælp af T. BARTH's metode (1952) og derefter omregnet til procent af den samlede feldspatmængde. Resultaterne er givet i tabel nr. 5 og er afbildet i diagrammet fig. 20.

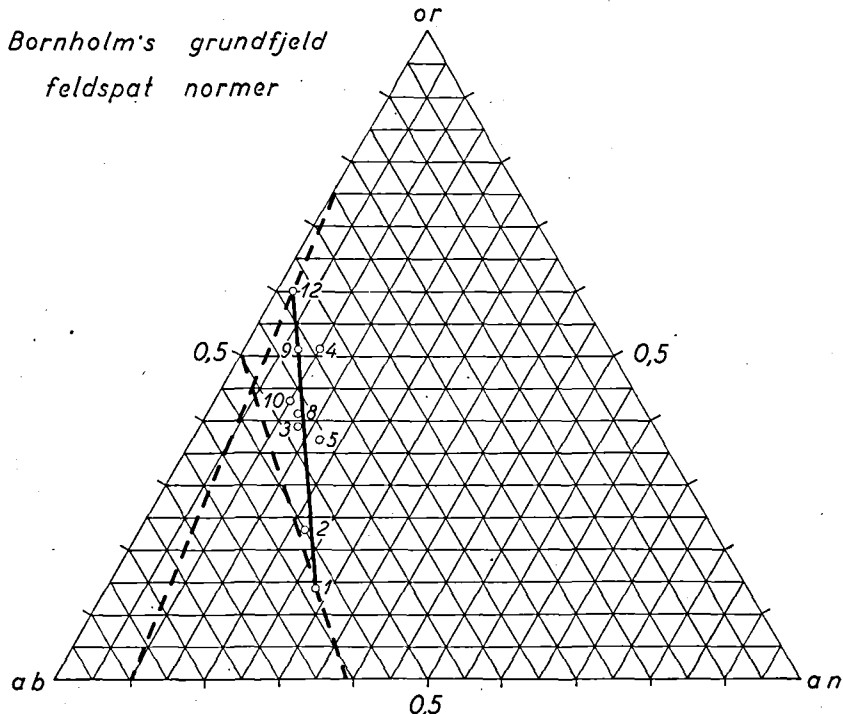


Fig. 20. Feldspatindholdet i de bornholmske grundfjældsbjergarter. Feldspatindholdet er beregnet som normer og omregnet til procent af det samlede feldspatindhold, jfr. tabel 5.

Fig. 20 viser, at de bornholmske bjergarters indhold af feldspat stort set ligger på en linie, der går fra punkt 1 til punktet ($or_{0,60}, ab_{0,38}, an_{0,02}$). Punktet 1 svarer omtrent til den sammensætning, som bjergarterne oprindeligt har haft. Punktet ($or_{0,60}, ab_{0,38}, an_{0,02}$) svarer til en mikroklin med 35 % albit, d.v.s. den mikroklin, som er blevet tilført under Hammergranitiseringsen. Beliggenheden på en ret linie viser, at bjergarternes indhold af feldspat kan opfattes som en blanding af den primære bjergarts feldspat og den tilførte mikroklin. I virkeligheden ændres både feldspaternes sammensætning og mængdeforhold; yderpunkterne for disse variationer ses i tabel 6. I diagrammet angiver de to stiplede liniers endepunkter sammensætningerne af de samhørende feldspater.

Ved hjælp af bariumindholdet i mikroklinen var det muligt at beregne en granitiseringsgrad. Ligeledes kan man ud fra diagrammet fig. 20 bedømme, i hvor høj grad den enkelte bjergarts sammensætning har ændret sig fra den primære granodioritiske sammensætning (punkt 1) i retning af punkt 12, som repræsenterer granitiseringsens sammensætning. Disse granitiseringsprocenter ses i tabel 7.

Denne beregning forudsætter egentlig, at de bornholmske granulit-

Tabel 5
Feldspat normer

De bornholmske grundfjælds bjergarters indhold affeldspater er beregnet som normer efter T. BARTH's metode (1952). Tallene angiver mol-procent af den samlede mængde feldspat, beregnet på denne måde.

	1	2	3	4	5	8	9	10	12
	Hypersthen- granodiorit fra Rønne-stadiet	Hypersthen-grano- diorit, Mægård	Rønne- granodiorit	Rønne-granodio- ritens overgangs- zone	Paradisbakke- migmatit	Vang-granit	Hammer-granit	Svanke-granit	Tilført under Hammer-graniti- seringen
or = KAlSi_3O_8	14	23	39	51	37	41	51	43	60
ab = $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	58	55	48	39	46	47	42	47	38
an = $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	28	22	13	10	17	12	7	10	2

1 og 12 er skønnede talværdier. 2 er beregnet ud fra en geometrisk analyse og fra feldspaternes sammensætninger. 3, 4, 5, 8, 9 og 10 er beregnet som normer ud fra de kemiske analyser hos K. CALLISEN (1934).

Tabel 6
Yderpunkterne for feldspaternes variation i det
bornholmske grundfjælds bjergarter.

	1	12
	Oprindelig, ikke granitiseret, hypersthen-granodiorit fra Rønnestadiet	Tilført under Hammergranitiseringsen
Mængdeforholdet: Kalifeldspat/plagioklas	30/70	80/20
Barium i kalifeldspat	7500 ppm	50 ppm
Albit i kalifeldspat	ca. 50 %	ca. 20 %
Anorthit i plagioklas	39 %	8 %

facies bjergarter havde ens sammensætning. Afvigelserne fra linien 1/12 i fig. 20 viser, at dette ikke var tilfældet. Der er dog god overensstemmelse mellem granitiseringsgraden beregnet på denne måde og beregnet på andre måder. Variationerne i granulitfacies bjergarterne kan derfor ikke have været ret store, når man ser bort fra de tidligere omtalte indeslutninger.

Fig. 21 viser feldspatindholdet i de bornholmske bjergarter, i granulitfacies bjergarterne fra Isortoq komplekset i Vestgrønland, i amfibolitfacies bjergarterne fra Egedesminde komplekset i Vestgrønland (H. RAMBERG, 1951) samt i charnockiterne fra Varberg i Sverige (P. QUENSEL, 1951). Granulitfacies bjergarterne viser en regelmæssig variation efter linier (stiplede), der svarer til, at især anorthitindholdet varierer. Ved granitisering i amfibolitfacies sker der en spredning af analyserne opad i diagrammet, svarende til tilførsel af kalifeldspat.

Bjergarterne på Bornholm svarer nærmest til de svenske charnockiter. Disse charnockiter er dannet i granulitfacies og har siden undergået en granitisering ligesom de bornholmske bjergarter. De analyser af charnockiter, som falder i højre side af diagrammet er foretaget på amfibolit gange, der efter al sandsynlighed er fremkommet ved metamorfose af dolerit.

f. Petrografisk udvikling

Som vist i de foregående afsnit er grundfjældet på Bornholm blevet dannet i granulitfacies som hypersthenførende bjergarter – Rønne-stadiet. Korrigerer man hypersthen-granodioriten fra Mægård for de senere dannede mikroklinrande, albitrige rande og den tilførte kvarts, får man den bjergart, som er angivet i tabellernes kolonne 1. Plagioklas dominerer over kalifeldspat, og den oprindelige granulitfacies bjergart var derfor en granodiorit.

Samtlige bornholmske graniter er fremkommet ved, at den oprindelige granulitfacies bjergart er blevet granitiseret i amfibolitfacies. Der er tilført K, Na, Si, medens Ca, Fe og Mg er vandret bort. Denne omdannelse

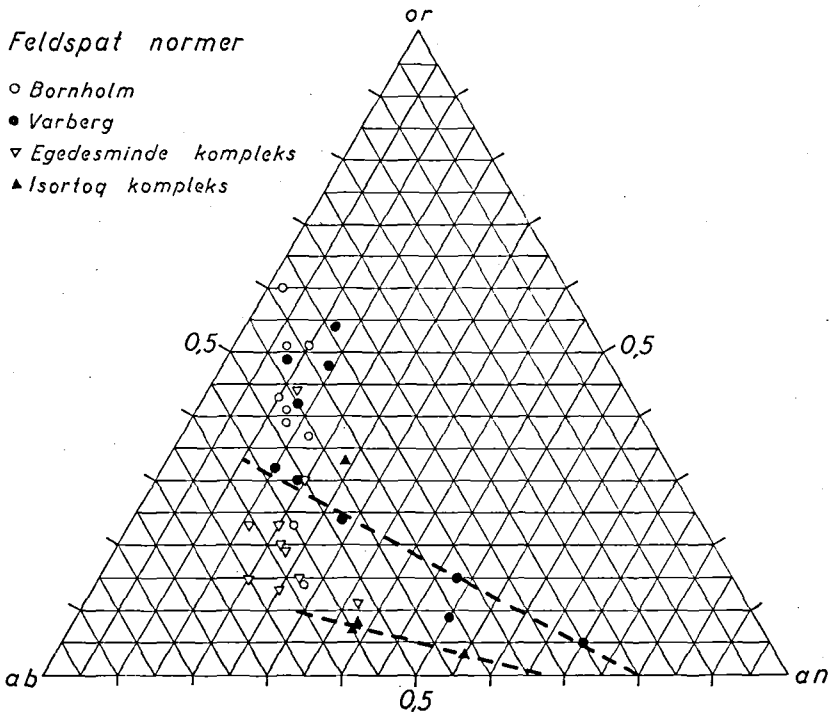


Fig. 21. Feldspatindholdet i bjergarter fra forskellige grundfjældsområder. Feldspatindholdet er beregnet som normer og omregnet til procent af det samlede feldspatindhold.

fremgår 1) af hypersthenens omdannelse, 2) af variationen i feldspatens sammensætning, 3) af forskydninger i mineralernes indbyrdes mængdeforhold og 4) af de kemiske analyser. Det skal bemærkes, at Svanekegraniten ikke er dannet under Hammer-granitiseringen, men under den senere Svaneke-granitisering; dette kan ikke ses i mineralsammensætningen, men vil fremgå af de strukturelle forhold, som omtales i næste kapitel.

På grundlag af hver af de nævnte ændringer kan man beregne en granitiseringsgrad, der udtrykt i procent af den fuldstændige omdannelse ses i tabel 7. De enkelte »granitiseringsprocenter« ligger nær hinanden; dog er der en del afvigelser, hvoraf nogle måske kan »bortforklares« som primære lithologiske forskelle fra Rønne-stadiets tid. De leukogranitiske bjergarter viser ret store afvigelser, især på grund af et højt indhold af barium. Denne barium stammer sandsynligvis fra den feldspat, der blev opløst under dannelsen af randzoner på værtsbjergarternes feldspatkorn, og det var således en »foruren« granitisering, som skabte de leukogranitiske bjergarter.

Tabel 7

De bornholmske grundfjældsbergarters granitiseringsgrad

Granitiseringsgraden er beregnet ud fra mineralernes mængder (tabel 1), mineralernes sammensætning (tabel 2) og feldspatnormerne (tabel 5). Den hypersthen-granodiorit, der blev dannet under Rønne-stadiet er sat til 0 %, og det materiale, der blev tilført under Hammer-granitseringen er sat til 100 %. Tallene angiver således den procentvise granitiseringsgrad og er rundet af til nærmeste multipla af 5 for ikke at overdrive nøjagtigheden.

Grundlag for beregning af granitiseringsgraden er indholdet af:	2 Hypersthen-granodiorit, Mægård	3 Rønne-granodiorit	5 ¹⁾ Paradisbakke-migmatit, mørke del	6 Mørk gnejs	7 Lys gnejs	8 Vang-granit	9 Hammer-granit	10 Svaneke-granit	11 Aplit, leukogranit, pegmatit
Mikroklin.....	15	40	35	60	70	50	75	60	90-135
Plagioklas.....	25	35	35	60	65	65	80	50	70-110
Kvarts.....	30	40	35	55	70	60	80	55	70-110
Mørke mineraler.....	15	40	30	50	70	55	75	70	90-100
Barium i kalifeldspat.....	20	35	45	55	60	60	75	65	35-100
Anorthit i plagioklas.....	15	35	45	50	65	50	80	65	60-100
Feldspat normer.....	20	55	40			60	80	65	
Granitiseringsgrad — middel.....	20	40	40	55	65	55	80	60	100

¹⁾ Denne beregning er foretaget for Paradisbakke-migmatitens mørke del; leukogranitslirerne, som gør bjergarten til en migmatit, er anbragt i kolonne 11.

III. Strukturer

Dette kapitel har kun i begrænset omfang kunnet baseres på litteratur (K. CALLISEN 1934, S. v. BUBNOFF 1932, 1938, 1942, S. v. BUBNOFF og R. KAUFMANN 1933). Årsagen er, at de foreliggende tektoniske undersøgelser i meget høj grad er baseret på målinger af kvartskorns og glimmerkorns orientering i tyndsnit. P. PAULITCH (1951 og 1954) har imidlertid vist, at der er meget stor usikkerhed forbundet med at anvende kvartskorns orientering. Yderligere har B. SANDER m.fl. (1954) vist, at det er nødvendigt at foretage korrektioner for hyppigheden af glimmerkorn med forskellig orientering; undlades denne korrektion, kan man kun benytte hovedtrækkene af biotitkornenes orientering, der fuldt så godt kan måles i felten som foliation og lineation. Der er dog til dette arbejde brugt detailobservationer fra de nævnte afhandlinger.

Analogislutninger med fjerntliggende områder er så vidt muligt undgået, da jeg har foretrukket kun at konkludere ud fra observationer på Bornholm.

Den strukturelle analyse er derfor overvejende baseret på egne observationer i felten. Imidlertid er blotningernes antal, deres størrelse og indbyrdes afstand meget ugunstig for en geologisk kartering af grundfjeldet, sml. med afsnittet om forkastninger, p. 344. Det strukturelle kort — fig. 22 — er derfor en tolkning af observationer, der strengt taget er alt for spredte.

a. Hovedlinier

Som omtalt i det petrografiske afsnit, p. 314, har størsteparten af det bornholmske grundfjelds bjergarter både foliation og lineation, som tilsammen danner stribningen.

Stribningens fremkomst skyldes sandsynligvis deformation parallel med foliationsplanet — navnlig i lineationens retning. Leptiterne ved Listed danner, som omtalt på p. 320, liggende folder, hvis foldningsakse og akseplan er parallelle med lineationen og foliationen i den omgivende gnejs. Vi må derfor regne med, at bjergartens stribning er dannet samtidig med foldningen af leptiterne. Under Hammer-granitiseringen blev foliationen og lineationen deformeret under foldning om en ny akse, der dykker¹⁾ svagt mod NV. På grund af aksernes forskellige retning, vil jeg tro, at lineationen er væsentlig ældre end Hammer-granitiseringen. At stribningen er ældre end Hammer-granitiseringen ses også af, at der ikke er nogen sammenhæng mellem granitiseringsgraden og stribningens intensitet. Med vor nuværende viden må vi derfor anse det for sandsynligst, at foldningen af leptiterne er sket i Rønne-stadiet, og at foliationen er opstået samtidigt dermed. Jeg kan dog ikke udelukke, hverken at stribningen er yngre eller at den er ældre end Rønne-stadiet; men da noget

¹⁾ Ved en foldningsaksens eller en lineations «dyk» forstår jeg (i mangel på bedre udtryk) komplementvinklen til vinklen mellem lineationen og lodlinien (engelsk: plunge, svensk: fältstupningen).

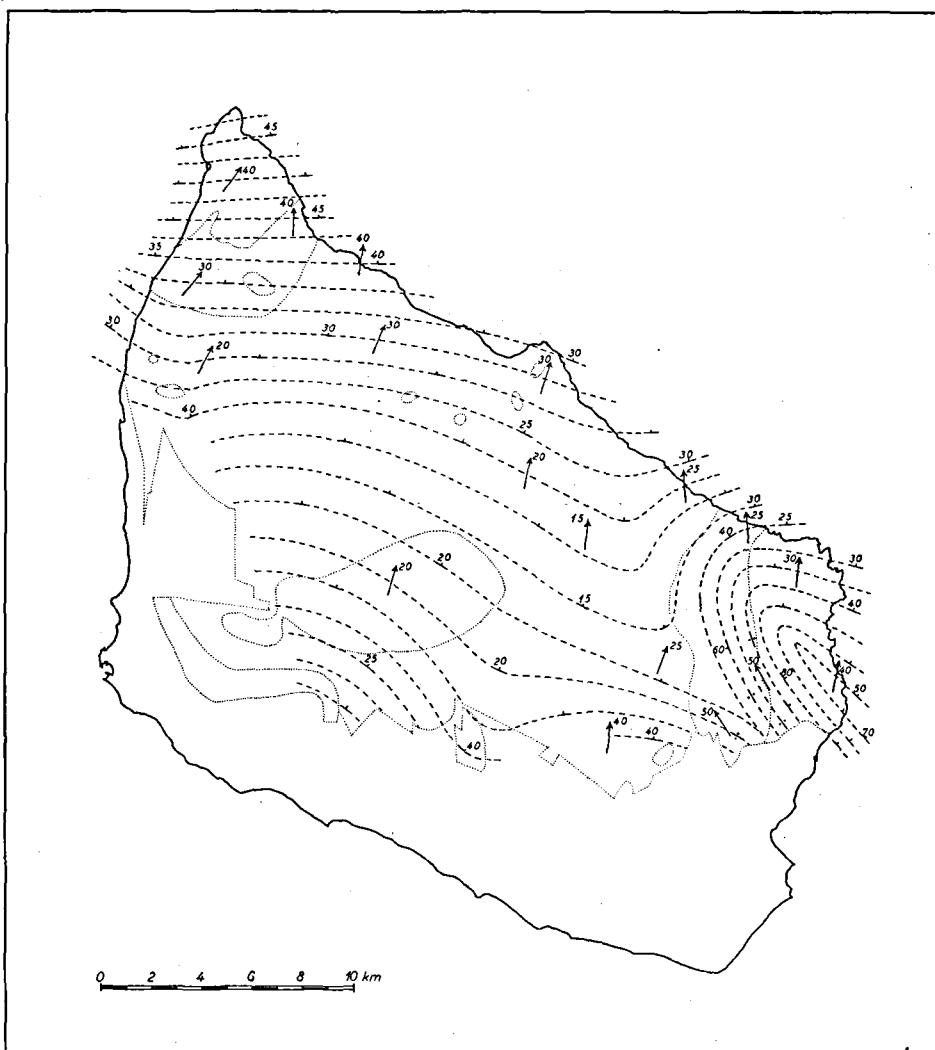


Fig. 22. Foliationens og lineationens orientering i grundfjældet på Bornholm. Foliationens strygning er angivet ved de stiplede linier, dens hældningsretning ved tværstreger og hældningens størrelse i grader ved tal. Pilene viser den retning, hvori lineationen dykker, tallene giver dykket i grader. Kortet er behæftet med stor usikkerhed.

sådant ikke er bevist, vil jeg nøjes med at regne med en periode med metasomatiske omdannelser før Hammer-stadiet. Den ret store forskel mellem den ældste og den yngste foldningsaksens retning taler for, at der på Bornholm er spor af to forskellige foldeperioder.

Bortset fra lokale forstyrrelser, der omtales senere, forløber foliationen

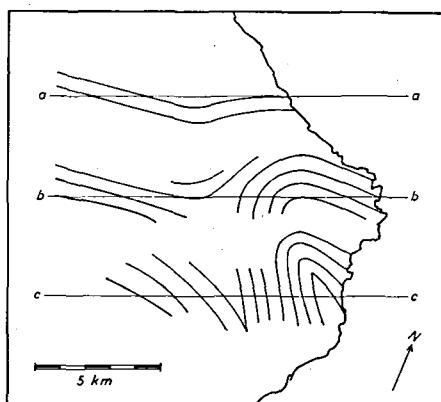


Fig. 23. Tre profiler gennem den østbornholmske fold. Profilerne står lodret i linierne a-a, b-b og c-c.

stort set ret plant over det meste af Bornholm. Den hælder 10° – 50° mod N til NNØ, således at hældningen er størst mod N, sml. strukturkortet fig. 22. De stiplede linier på strukturkortet er tegnet, så de svarer til grænserne mellem tænkte lag af en halv kilometers mægtighed; der er dog ikke taget hensyn til forkastninger. Linierne viser derfor foliationens strygning, og deres afstand giver ligesom tallene foliationens hældning. Hældningsretningen er angivet ved små tværstreger. Pilene viser lineationens retning og tallene lineationens dyk i grader. På trods af den usikkerhed, som kortet er behæftet med, fremgår det, at der i den østlige del af granitområdet findes en kraftig flexurfold — den »østbornholmske fold«, som også ses i profilerne på fig. 23. I den nordlige del er folden ret blødt tegnet, og dens akse dykker ca. 15° mod NNV. Længere mod syd — i Paradisbakkerne — er folden mere markeret og overkippet mod vest; foldningsaksen dykker her ca. 15° mod NV. Folden blev dannet under Hammer-granitseringen (se p. 336).

Grænsen mellem Svaneke-granit og gnejs skærer skråt ind over folden, hvis østlige flanke kun er konstateret ved at måle foliationens orientering i Svaneke-granitens talrige indeslutninger.

Den del af folden, som ligger vest for Svaneke-graniten, blev til dels opdaget af R. KAUFMANN (S. v. BUBNOFF og R. KAUFMANN, (1933), se tavle VI). Strukturen blev senere beskrevet noget anderledes af S. v. BUBNOFF (1942, p. 374), som mente, at deformationen var forårsaget af et tryk fra et fremstrømmende magna af Svaneke-granit, en tolkning, som ikke kan opretholdes mere (se p. 339).

b. Gnejs

I gnejsen forløber foliationen stort set jævnt og den hælder 20° – 40° NNØ. En detail ser man derimod talrige forstyrrelser som f. eks. flexuren på fig. 24. Flexurerne er i almindelighed bløde, uden skarpe knæk, og i de



Fig. 24. Leukograniter i gnejs. Skråt gennem billedet går en flexur, som delvis er replaceret af leukogranit. Til venstre for flexuren har en leukogranit replaceret uregelmæssige dele af den udeformede gnejs. Lok.: Knarregård stenbrud, NV for Østerlars kirke.

fleste tilfælde er de til dels blevet replaceret af uregelmæssigt formede leukograniter.

Det er almindeligt at finde partier af størrelsen $\frac{1}{2}$ –1 m, hvor foliationen løber blødt sammen, som vist på side 301 (H. MICHEELSEN 1961). Denne struktur vil blive benævnt »konvergent foliation«. Den centrale del af felter med konvergent foliation er altid replaceret af et leukogranitisk legeme med diffuse, uregelmæssige grænser; i de centrale dele af disse leukograniter finder man undertiden pegmatit. Den konvergente foliation er fremkommet som lokale sammensnøringer, fordi værtsbjergarten er blevet trukket ud parallelt med foliationen.

Gnejsen er flere steder, f. eks. ved Bokul, gennemsat af mange flexurer og partier med konvergent foliation. Den er derved kommet til at bestå af fragmenter, der er drejet i forhold til hinanden som i en agmatit. I områdets østende dominerer flexurerne, og bjergarten får karakter af en linse-gnejs (sml. næste afsnit).

Mange leukograniter findes i partier af gnejsen, hvor foliationen ikke er deformeret. Denne type leukograniter kan ofte gennemvæve bjergarten så fuldstændigt, at den bliver en breccie bestående af gnejsfragmenter i en leukogranitisk masse, d.v.s. en migmatit. Da gnejsfragmenterne alle har parallelt orienteret foliation og lineation, må breccien være dannet

som en replaceringsbreccie under granitisering. Leukograniter er behandlet nærmere af H. MICHEELSEN (1961).

Der er gradvis overgang mellem gnejsen og de omgivende bjergarter. Overgangen til Vang-graniten er allerede omtalt som resultatet af en gradvis aftagende deformation af de runde hobe af mørke mineraler. Overgangen til Paradisbakke-migmatit er ligeledes gradvis og består af to ændringer, der er uafhængige af hinanden. Den ene ændring består i, at mængden af mørke mineraler øges mod SØ, den anden består i, at antallet af leukograniter øges mod Ø. Mod Rønne-granodiorit er der formentlig også gradvis overgang; gnejsen i SV er overgangsled mellem Rønne-granodiorit i SV og Hammer-granit i Almindingen. Rønne-granodioritens overgangszone — K. CALLISEN (1934) og kolonne 4 i tabellerne i kapitel II — er ifølge sin petrografiske karakter en kraftigt granitiseret bjergart, der nærmest må sammenlignes med gnejsen; den er dog svagt eller slet ikke stribet.

Rønne-granodioritens porfyriske randzone har jeg ikke haft lejlighed til at studere. K. CALLISEN (1934) nævner en lignende forekomst i Paradisbakkerne. At domme efter forløbet af foliationen, ligger forekomsterne i Rønneområdet og i Paradisbakkerne i samme højde i den bornholmske granitserie. Der er derfor muligt, at den porfyriske zone har udgjort et lag af stor udbredelse.

I gnejsen træffer man undertiden lyse, et par cm brede bånd, på begge sider ledsaget af en bjergart rig på mørke mineraler; både den lyse og den mørke bjergart er tydeligt folieret parallelt med den omgivende gnejs og bliver ved flexurer og pegmatiter deformeret på samme måde som omgivelserne. Indholdet af mørke mineraler er i den lyse bjergart ca. halvt så stort og i de mørke bånd ca. dobbelt så stort som i gnejsen. Der kan intet sikkert siges om disse bånds dannelse; det er muligt, at de har været pegmatiter eller leukograniter med basiske fronter dannet før foliationen.

c. Paradisbakke-migmatit

Betegnelsen »migmatit« for bjergarten i Paradisbakkerne skyldes, at den fremtræder som en heterogen blanding af to bjergarter, hvoraf den ene (den yngste) har leukogranitisk sammensætning.

Ifølge foliationens forløb befinder Paradisbakke-migmatit sig på omtrent samme niveau som Rønne-granodiorit. De har formentlig dannet et sammenhængende lag, som tidligere har fortsat længere mod øst; thi Svaneke-granitens sydlige del har indeslutninger af Paradisbakke-migmatit og Rønne-granodiorit.

Strukturelt minder Paradisbakke-migmatit meget om gnejsen, både hvad angår foliation, flexurer, konform deformation og leukogranit-slirer. Paradisbakke-migmatit afviger først og fremmest fra gnejsen ved at have endnu talrigere slirer af leukogranit. Leukograniterne danner enten uregelmæssige, diffust afgrænsede legemer eller mere langstrakte, noget skarpere afgrænsede slirer. De uregelmæssige legemer findes i udeformeret bjergart, i flexurer og i områder med konvergent foliation. De langstrakte leuko-



Fig. 25. Linsegnejs struktur i Paradisbakke-migmatit. Præstebro stenbrud.

granitlirer viser et mønster af flexurer, som ved at løbe sammen opdeler bjergarten i linseformede partier, fig. 25. De enkelte linser er bevæget i forhold til hinanden, og deres foliation er i almindelighed vipet lidt i forhold til nabolinserne. De enkelte linser kan atter være opbygget af mindre linser, således at Paradisbakke-migmatit har linsegnejs struktur (jfr. C. E. WEGMANN, 1938).

Mange af de uregelmæssige leukogranitiske legemer er blevet deformeret ved flexurerne og må derfor være ældre end flexurdannelsen. Andre leukograniter replacerer flexurer og må derfor være yngre end flexurdannelsen, hvad der er i overensstemmelse med, at flexurerne er rekrystalliserede.

Linsegnejs strukturen ses bedst i stenbruddet ved Præstebo. Den findes også nord for Paradisbakkerne i det område, som K. CALLISEN (1934) betegner med lysere, stiptet signatur. Helt oppe ved kysten må bjergarten nærmest kaldes gnejs. Linsegnejs strukturens udbredelse falder sammen med den stejle, vestlige del af den østbornholmske flexurfold. Den deformation, som skabte linsegnejs strukturen, er derfor den samme, som den der skabte folden. Leukograniterne i Paradisbakke-migmatiten har samme mineralsammensætning, uanset om de er blevet deformeret af flexurer, eller om de har replaceret flexurer. De må derfor være nogenlunde samtidige, og samtidige med Hammer-granitiseringen. Hammer-granitiseringen er altså begyndt før deformationen og har fortsat efter denne.

d. Hammer-granit

Under Hammer-granitseringen blev de bornholmske bjergarter omdannet i varierende grad, og Hammer-graniten er resultatet af den mest intense omdannelse. Hammer-granit findes på den nordlige del af Bornholm, i et stort område i Almindingen og i flere mindre områder i gnejsen.

Nordlige del

Ved Olskirke og i Slotslyngen har Hammer-graniten runde hobe af mørke mineraler ligesom Vang-graniten; Hammer-granitens vestlige og centrale del må derfor være opstået ved granitsering af Vang-granit. Langs nordkysten af Bornholm træffer man mange overgangsled mellem gnejs, som findes ved Tejn, og helt ustribet Hammer-granit, som først ses på selve Hammeren. Uanset granitseringsgraden har foliation og lineation samme orientering i alle bjergarterne. Den stribede Hammer-granit mod øst må derfor være opstået ved granitsering af gnejs eller af stribet Vang-granit. Hvor Hammer-graniten er folieret, er det ikke sjældent at se konvergent foliation og flexurer ligesom i gnejsen.

Hammer-granitens grænseforhold

Ved Sjælle mose og på det vestlige Bornholm er grænsen mellem Vang-granit og Hammer-granit ret skarp og almindeligvis markeret af den såkaldte randaplit. Ved randapliten er foliationen i graniterne almindeligvis deformeret som ved en flexur, og apliten er folieret parallelt med sin længderetning. Randapliten er derfor fremkommet ved omdannelse af en bevægezone. Grænsen mellem randaplit og Vang-granit er uregelmæssig, og apliten ser ud til at erstatte Vang-graniten. Til den anden side har apliten meget jævn overgang til Hammer-granit; det skyldes antagelig, at den er blevet granitiseret. I Finnedalen ses undertiden en uregelmæssig, diffus grænse mellem Hammer- og Vang-granit uden mellemliggende applit.

S. v. BUBNOFF (1938) har vist, at Hammer-graniten i store træk ligger fladt ind under Vang-graniten. Medslæbet ved den applit, som danner Vang-granitens undergrænse, viser, at Hammer-graniten har bevæget sig mod nord frem under Vang-graniten. Vang-granitens undergrænse ligger ret fladt, ellers er det almindeligst, at Hammer-granitens grænse står ret stejlt, således at Vang-graniten befinder sig som skarptkantede partier i Hammer-graniten (S. v. BUBNOFF, 1938). De enkelte partier har været begrænset af myloniter — nu apliter — langs hvilke blokke af Hammer-granit og Vang-granit er blevet forkastet op og ned mellem hinanden.

Går man langs nordkysten, træffer man mange overgangsled mellem gnejs og Hammer-granit, men ingen jævn overgang; snart ses mere, snart mindre granitiserede bjergarter. Det må fortolkes således, at der oprindeligt har været jævn overgang fra gnejs til Hammer-granit. De spring i granitseringsgraden, som det nuværende erosionsniveau udviser,

må derfor skyldes forkastninger af forskellig størrelse. Ligesom mod vest er disse forkastninger omdannet til apliter.

De forkastningsbevægelser, som forårsagede randaplitenes dannelse, har bragt bjergarter af vidt forskellig granitiseringsgrad i kontakt med hinanden; granitiseringen må derfor være forløbet meget langt, før forkastningerne skete. Ikke desto mindre må granitiseringen være fortsat efter forkastningen; thi randapliten er delvis omdannet til Hammer-granit, og den skæres af pegmatiter. Selvom det er klart, hvordan randapliten er blevet dannet, er det et problem, hvorfor den stadig er der. Randapliten har øjensynligt adskilt Vang-graniten fra den granitisering, der udgik fra Hammer-graniten; kun lokalt har granitiseringen omdannet apliten og angrebet Vang-graniten. Randapliten må altså have beskyttet Vang-graniten mod Hammer-granitiseringen. Denne beskyttende evne må skyldes, at apliten har været kemisk stabil under granitiseringen, da Hammer-granitiseringsens stabile slutprodukt netop har leukogranitisk sammensætning ligesom apliten.

Ved Olskirke findes i Hammer-granit en 10–50 cm mægtig omtrent vandret liggende aplit, der er folieret parallelt med sin længderetning. Den ligner fuldstændig randapliten og må antagelig være en overskydningsmylonit svarende til Vang-granitens undergrænse, men oprindeligt dybere liggende. Denne aplit er i det vestlige stenbrud forkastet et par meter ved en lodret stående aplit.

Alminding området

Hammer-granit området i Almindingen er under betegnelsen Bjergbakke-granit blevet betragtet som forskellig fra Hammer-graniten på grundlag af optiske målinger (K. CALLISEN, 1934). Mere moderne apparatur — universal drejebord — har imidlertid vist, at de to bjergarter er identiske. Centralt i Almindingområdet (Bjergbakke og Hvide Enge) er graniten kun svagt folieret. Marginalt bliver foliationen gradvist mere udtalt, ligesom mængden af mørke mineraler stiger. Det må derfor antages, at dette område, ligesom området på øens nordende, er blevet dannet ved granitisering af den omgivende gnejs.

Ved Bjergbakke har Hammer-graniten de samme strukturer med flexurer og konvergent foliation (se p. 334) som gnejsen. Ligesom ved Olskirke er disse strukturer dog vanskelige at få øje på i den kun svagt sribede bjergart. Ved Bjergbakke danner mørke biotittrige slirer liggende folder i graniten.

Små områder i gnejsen

Hammer-granit findes i flere små områder i gnejsen, f. eks. NV. for Østerlars kirke. Graniten kan være finkornet eller næsten aplitisk, f. eks. ved Frigaard NØ for Hasle. Der er ikke observeret egentlige grænser til den omgivende sribede gnejs, men forholdene tyder på, at der er gradvis overgang. Det er fælles for alle disse områder, at foliationen har samme orientering som i den omgivende gnejs.

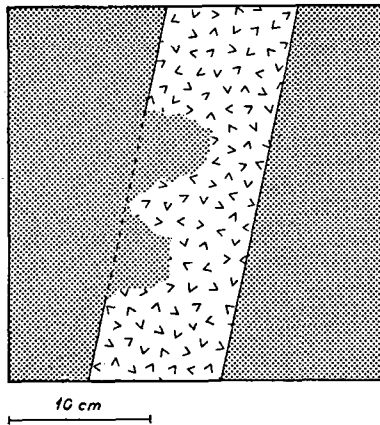


Fig. 26. Pegmatitgang i Svaneke-granit. Pegmatitens grænser er markeret af små erosionsfurer, som fortsætter i Svaneke-graniten, hvor denne har replaceret sig uregelmæssigt ind i pegmatiten. Lok.: NV for Listed.

e. Svaneke-granit

Svaneke-graniten er ganske svagt eller slet ikke stribet. Den har overalt indeslutninger af bjergarter, der i sammensætning går fra amfibolit over Rønne-granodiorit og Paradisbakke-migmatit til Hammer-granit og aplitisk granit. Indeslutningerne har ofte både foliation og lineation, og det er målinger af disse strukturer, som danner grundlaget for struktur-kortet over Svaneke-graniten, fig. 22. Denne foliation og lineation fortsætter strukturen i gnejsen og danner den østlige del af den østbornholmske fold. Det følger heraf, at Svaneke-graniten er dannet ved replacering. Hvor indeslutningerne er særligt hyppige, f. eks. vest for Listed, må Svaneke-graniten betegnes en granitiseringsbreccie.

Svaneke-granitens vestgrænse skærer den østbornholmske fold diskordant og må derfor være yngre end foldningen. Dette er i overensstemmelse med, at Svaneke-graniten ved Helletsgård har indeslutninger af Paradisbakke-migmatit med leukogranitiske slirer. Som nævnt er leukograniterne i Paradisbakke-migmatiten nogenlunde synkinematiske.

På trods af Svaneke-granitens store, undertiden næsten pegmatitiske kornstørrelse er der ikke synderligt store mængder pegmatit i dens omgivelser; f. eks. er Paradisbakke-migmatiten fattig på pegmatiter sammenlignet med Hammer-granitens omgivelser. Pegmatiterne i Svaneke-graniten har normalt diffuse grænser. I kystklipperne ses det undertiden, at Svaneke-granit fortsætter uregelmæssigt ind over de lineære erosionsfurer, som almindeligvis markerer pegmatitens grænser, fig. 26. Disse forhold tyder på, at graniten har replaceret pegmatiterne, og at graniten således er yngst, pegmatiterne ældst. Ved Hullehavn er der iagttaget et uregelmæssigt parti af storkornet kvarts i Svaneke-granit, og et stykke derfra er der set et uregelmæssigt aflangt parti af store feldspatkorn; begge dele

må betragtes som rester af pegmatiter, der ellers er forsvundet under granitdannelsen.

Pegmatiterne i Svaneke-graniten ser ikke ud til at være blevet deformeret ved folder og flexurer, og de må derfor anses for at være post-kinematiske ligesom Bornholms øvrige pegmatiter. Dog er de ældre end den post-kinematiske Svaneke-granit. Det er sandsynligt, at de pegmatiter, som sidder i Svaneke-graniten, blev dannet samtidigt med de andre bornholmske pegmatiter under Hammer-granitiseringsens slutfase. Pegmatiterne i Svaneke-graniten er derfor relikter fra Hammer-stadiet ligesom indeslutningerne. Dette sandsynliggøres også af, at mineralerne i pegmatiterne i Svaneke-graniten har nogenlunde samme sammensætning som i de øvrige bornholmske pegmatiter.

Der er stor forskel på Svaneke- og Hammer-granitiseringen, selvom begge er replaceringer, hvori de samme mineraler har deltaget. Hammer-granitiseringen har angrebet de enkelte mineralkorn på hele deres overflade inden for et diffust afgrænset område, der er mange kilometer stort. Foliationen og lineationen blev bevaret indtil en meget høj granitiseringsgrad, ligesom kornstørrelsen ikke ændredes væsentligt. Denne granitisering må derfor siges at være en dispers replacering. Svaneke-graniten har derimod en ret skarp grænse, kun nogle få meter bred (højst 10 m?). Inden for grænsen er omdannelsen komplet; udenfor er der intet sket. Svaneke-granitiseringen må sandsynligvis være gået frem som en front, hvori hele omdannelsen skete. De enkelte mineralkorn er ikke blevet angrebet på hele deres overflade på en gang; men de er blevet opløst en bloc, hvorved foliation og lineation forsvandt, samtidig med at Svaneke-granitens store mineralkorn blev bygget op.

På Bornholm er den klassiske orogene granitserie repræsenteret (W. WAHL, 1936). Gnejsen svarer til de prim-orogene (syn-kinematiske) graniter. Hammer-graniten svarer nærmest til de sen-orogene (sen-kinematiske) graniter. Svaneke-graniten hører til de post-orogene (post-kinematiske) graniter. Selvom Hammer-graniten indeholder mere ungt materiale end gnejsen, er de to bjergarter dog begge dannet i de samme to perioder. Yderligere er deres stribning ældre end foldningen under Hammer-stadiet. Den klassiske inddeling af graniterne kan derfor ikke umiddelbart anvendes på Bornholm.

f. Pegmatiter

De bornholmske pegmatiter er fornyligt blevet behandlet (H. MICHEELSEN 1960), og dette afsnit er kun et resumé af nævnte afhandling, hvor en argumentation forefindes.

De bornholmske pegmatiter er dannet på tre måder, som kan gå gradvist over i hinanden: under dilatation, ved replacering, under selektiv resorption af sidestenen. Disse betegnelser svarer til tolkninger af strukturerne i pegmatiternes umiddelbare omgivelser. Det må understreges, at det langt fra altid er muligt at vise, hvorledes den enkelte pegmatit er dannet, da der ofte mangler egnede strukturer.

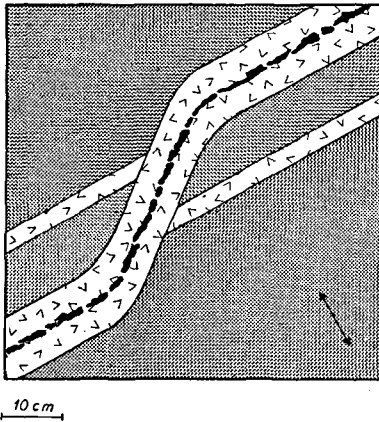


Fig. 27. Pegmatitgange i Rønne-granodiorit. Den yngste pegmatitgang, som har en kerne af kvarts, er svagt S-formet og skærer en ældre pegmatitgang under dilatation. Pilen angiver dilatationens retning og størrelse. Lok.: Lobbæk.

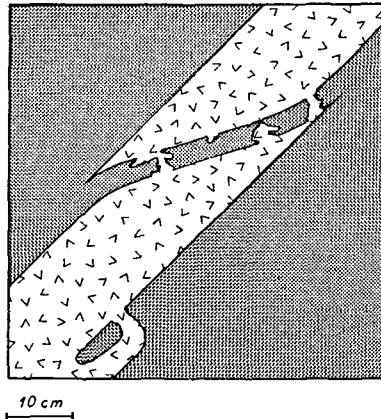


Fig. 28. Pegmatitgang i Rønne-granodiorit. Gangen er dannet under dilatation af to parallelle sprækker, der har forløbet en échelon. Den plade af Rønne-granodiorit, som adskilte de to sprækker, er derved blevet bøjet ind over gangen. De uregelmæssige korrosionsgruber i pladen af Rønne-granodiorit tyder på, at pegmatiten har replaceret denne. Forneden i billedet viser pegmatitens grænseforløb, at der må være sket replacering. Lok.: Lobbæk.

Pegmatiter dannet under dilatation

I Rønne-graniten træffer man talrige skarpt gennemskærende, oftest zonare pegmatitgange med nogenlunde parallelle sider. I enkelte tilfælde kan det ses, at gangens sider har bevæget sig bort fra hinanden, så den omgivende bjergart som helhed er blevet udvidet; man siger, at gangen er dannet under dilatation, fig. 27.

I stenbruddet ved Lobbæk ses en pegmatit, fig. 28, som er dannet under dilatation, hvorved en plade af Rønne-granit er blevet S-bøjet over gangen. Foruden dilatation er der også sket replacering ved dannelsen af denne pegmatit, thi uregelmæssige dele af granitpladen er forsvundet.

Dilatationen viser, at gangen er dannet ved, at alle dens mineralbestanddele er blevet tilført. Denne type pegmatiter findes overvejende i Rønne-graniten og ikke i nærheden af de mere intenst granitiserede områder; man må derfor antage, at disse pegmatiters materiale er fremkommet ved, at den diffust fordelte, gennemsvivende »granitiseringsfase« har samlet sig i sprækker og har udskilt deres materiale der.

Dilatation af plane sprækker forudsætter en stiv bjergart. Mangelen på disse pegmatiter i områder med intens granitisering må være et udtryk for, at graniteringen gør bjergarterne plastiske. Denne virkning må have holdt sig så længe som til under pegmatitdannelsen.

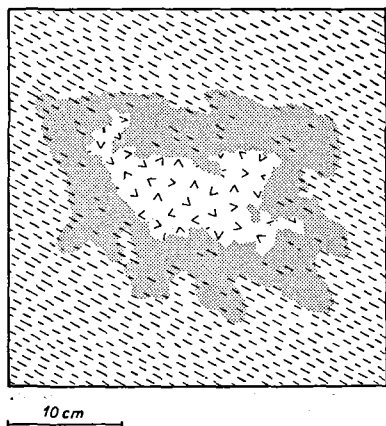


Fig. 29. Pegmatit i gnejs. Pegmatiten har leukogranitisk, diffus overgang til sidestenen, hvis foliation ikke er forstyrret på trods af pegmatitens uregelmæssige former. Pegmatiter af denne type må være dannet ved replacering. Lok.: Knarregaard, 2 km NV for Østerlars kirke.

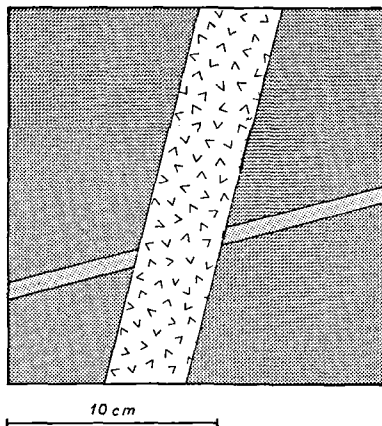


Fig. 30. Pegmatit i Vang-granit. Pegmatiten skærer en ældre gang af leukogranit uden dilatation og må derfor være dannet ved replacering. Lok.: Syd for Vang.

Pegmatiter dannet ved replacering

Mange bornholmske pegmatiter er dannet ved replacering, idet de svarer til en af nedenstående typer.

Pegmatiterne har fuldstændig uregelmæssige, amøboide former, og deres diffuse grænser deformerer ikke omgivelsernes foliation, fig. 29. Denne slags pegmatiter, som ofte er zonart opbyggede, er almindelige i Hammer-graniten.

Pegmatiterne er gange, der må være dannet ved replacering, fordi de uregelmæssige sider ikke passer sammen. En del af disse gange er ledsaget af basiske fronter; d.v.s. at pegmatiten er ledsaget af zoner, hvori der er sket en tilvækst i mængden af mørke mineraler; især er der ofte dannet hornblende i stedet for biotit. Disse basiske fronter tilhører den type 1, som er beskrevet af P. H. REITAN (1960). Andre af disse pegmatiter har diffuse grænser.

I enkelte tilfælde kan man se, at en pegmatitgang med skarpe, parallelle grænser skærer skråt gennem ældre strukturer, f. eks. ældre gange, uden at der sker dilatation, fig. 30. Gange af denne type må også være dannet ved replacering.

Pegmatiter dannet under selektiv resorption af sidestenen

Ved mange af Bornholms pegmatiter bøjer foliationen blødt og bliver næsten parallel med pegmatitens grænseflade. Denne struktur, som betegnes konform foliation, fig. 31 og 32, retter sig selv i detaljer efter

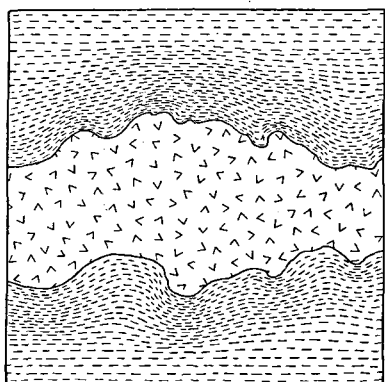


Fig. 31. Pegmatit i gnejs. Pegmatiten er ledsaget af basiske fronter og konformt deformeret foliation i værtsbjergarten. Pegmatiter af denne type er dannet under selektiv resorption af sidestenen. Lok.: Knarregaard.

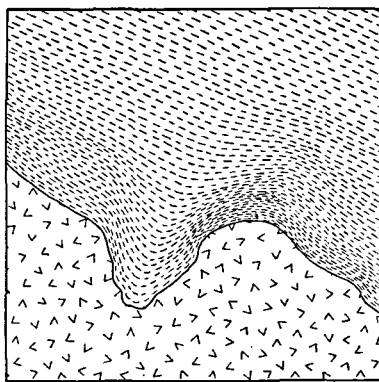


Fig. 32. Pegmatit i gnejs. Detalje af fig. 31.

pegmatitens grænser, der ofte har et uregelmæssigt udbulende forløb. Den konforme foliation er ledsaget af en forøgelse af mængden af mørke mineraler, således at der fremkommer basiske fronter tæt op til pegmatiten (type 1, P. H. REITAN, 1960). Den konforme foliation og den dermed følgende gradvise tilvækst af mørke mineraler svarer til, at de lyse mineraler, først og fremmest mikroklin, er forsvundet under pegmatitens vækst, samtidig med at et tryk fra den voksende pegmatit har presset de resterende mineraler til side. Denne proces betegnes selektiv resorption af sidestenen. Ved disse pegmatiters dannelse er sidestenen ikke blevet dilateret, da den selektive resorption har frembragt den nødvendige plads. Alligevel er pegmatiten som sådan vokset ved, at dens grænser har bevæget sig udad, d.v.s. under dilatation.

Den konforme foliations tydelighed og den basiske fronts intensitet varierer meget ved den enkelte pegmatit. Sandsynligvis har total replacering og selektiv resorption arbejdet side om side ved disse pegmatiters dannelse.

I ufolierede bjergarter som Rønne-granodiorit og Vang-granit kan der være fremkommet foliation i pegmatiternes nærhed som følge af selektiv resorption. Lidt fra pegmatiten er denne foliation ikke parallel med pegmatitgrænsen, men den bøjer konformt.

Pegmatiter, som er dannet under selektiv resorption af sidestenen, findes i samtlige graniter på Bornholm, omend hyppigst i gnejsen. Både regionalt og dannelsesmæssigt indtager de en mellemstilling til pegmatiter dannet ved total replacering og pegmatiter dannet ved dilatation.

g. Leukograniter

På Bornholm findes talrige små, leukogranitiske legemer, hvoraf de fleste typer allerede er omtalt. Det skal nævnes, at leukograniterne også kan findes som uregelmæssige gange, der ofte indeholder små, diffust afgrænsede partier af værtsbjergarten. I disse partier har foliationen den samme orientering som i sidestenen, og det må derfor antages, at gangene er dannet ved dispers replacering.

De bornholmske leukograniter er nærmere omtalt af H. MICHEELSEN (1961).

h. Apliter

Aplitgange er almindelige på Bornholm. Foruden Hammer-granitens randaplit er en del aplitgange dannet ved dispers replacering af bevægelsezoner. I mange tilfælde kan man dog ikke påvise, at der har været bevægelser ved aplitgangene.

Enkelte steder findes uregelmæssige legemer af aplit, som indeholder diffust afgrænsede indeslutninger af værtsbjergarten, hvis foliation er parallel med foliationen i aplitens sidesten. Ligesom de tilsvarende leukograniter må sådanne apliter være dannet ved dispers replacering uden forbindelse med bevægelser, se p. 325.

i. Myloniter, sprækker og diabaser

Disse fænomener har jeg ikke undersøgt ret meget, og de vil derfor kun blive omtalt ganske kort på grundlag af litteratur.

Kortet fig. 33 viser de retlinede dale på Bornholm; når de er kraftigt udviklede, kaldes de »sprækkedale«. Adskillige af disse dale er betinget af mylonitzoner, som f. eks. ved Kløven i Rutsker Højlyng (V. MÜNTHER, 1945). Andre dale, som f. eks. Kelseåens Dal — Ekkodalen er fremkommet ved erosion af diabasgange, hvis ringe modstandsdygtighed også er betinget af mylonitisering. Enkelte af disse sprækkedale er dannet i knusningszoner, d.v.s. hvor en svag bevægelse har opsprækket hele bjergarten i en zone parallel med bevægelsesretningen. Ved Store Sandkås ses en meget smuk knusningsbreccie, som indeholder butkantede fragmenter af Vang-granit og diabas.

Flertallet af dalene på kortet har været bevægelsezoner. For at et grundfjældsgeologisk kort skal kunne danne grundlaget for en pålidelig strukturel analyse, må det være baseret på en fuldstændig undersøgelse af hvert eneste af de små felter mellem bevægelsezonerne. Bornholms ringe blotningsgrad udelukker dette. Fig. 33 understreger derfor den usikkerhed, som må tillægges det tektoniske kort, fig. 22, og det geologiske kort, fig. 1.

Foruden de store sprækkedale er Bornholms grundfjæld tæt gennemsat af små sprækker, hvoraf de fleste danner to stejlt stående sæt, eet i retningen NNØ og eet i retningen ØSØ. Det første sæt har ofte en grønlig beklædning bestående af epidot eller klorit, det andet sæt er ofte beklædt med limonit. Angående en nærmere analyse af de bornholmske sprækker —

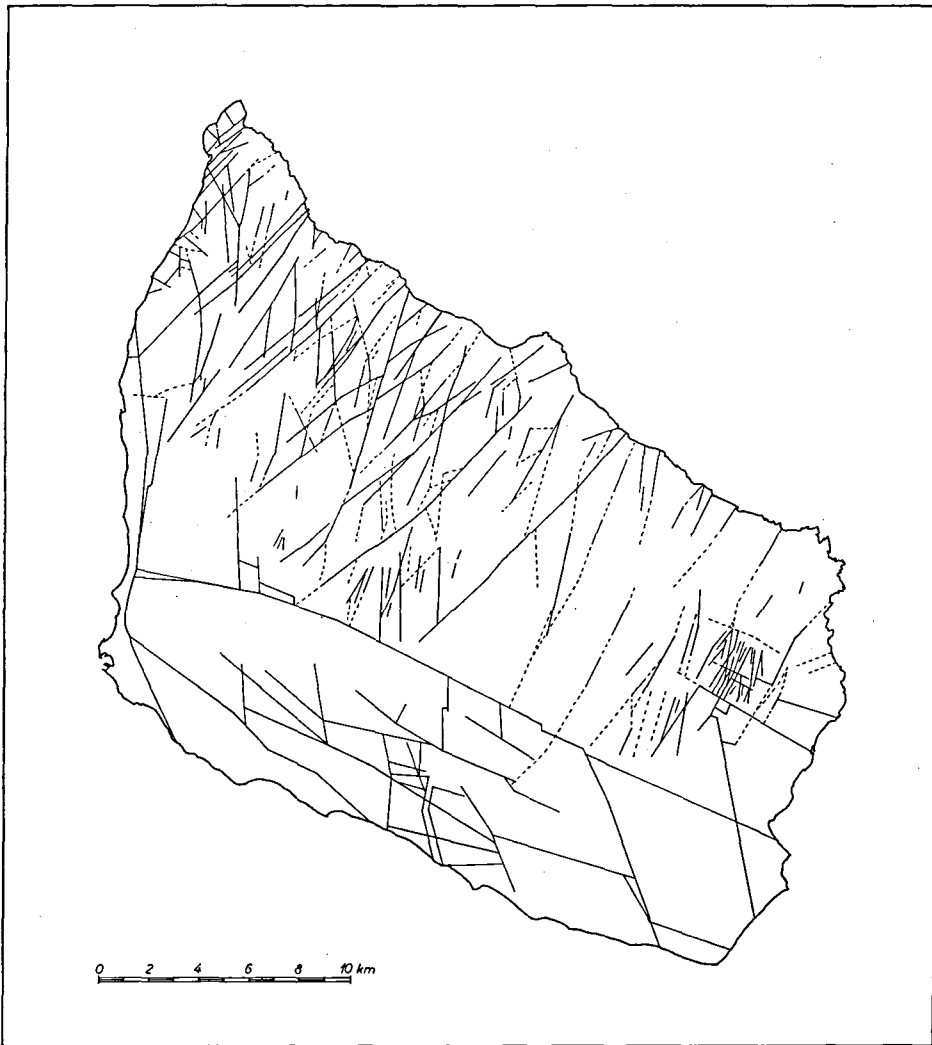


Fig. 33. Forkastninger og lineære, gennemskærende dale på Bornholm. Kortet er dels baseret på H. GRV (1960), dels på Geodætisk Instituts målebordsblade.

en analyse, hvis konklusioner er i modstrid med mine — må der henvises til de talrige arbejder af S. v. BUBNOFF og R. KAUFMANN. I de nævnte arbejder er man gået ud fra, at de bornholmske graniter er dannet ved krystallisation af et magma. F. eks. skriver S. v. BUBNOFF (1942) side 378, fjerdesidste linie: »Die vorher vorhandene Schmelze müssen wir als gegeben ansehen«. Dette er i strid med de resultater, jeg har fået efter pri-

mært at have sat mig som opgave at afgøre, om de bornholmske graniter, pegmatiter, m.m., var af magmatisk eller af metasomatisk oprindelse.

Angående diabasgangene skal det blot nævnes, at flertallet har nord-østlig retning ligesom sprækkedalene. De er nærmere undersøgt af K. CALLISEN (1934) og V. MÜNTHER (1945). Sidstnævnte har vist, at diabaserne er dannet i flere perioder adskilt af forkastninger.

IV. Genese

Formålet med dette afsnit er at danne et helhedsbillede af de konklusioner, der er draget i det foregående. Det må understreges, at dette billede sandsynligvis er for detailfattigt.

1) *Geosynkinal-stadiet*. Det ældste på Bornholm er de indeslutninger, som findes i graniterne. Det er sandsynligt, at det bornholmske grundfjæld oprindeligt har været en sedimentserie, eventuelt med indlejrede basaltlag, dannet i en geosynkinal.

2) *Rønne-stadiet*. Under granulitfacies betingelser blev hele det bornholmske grundfjæld omdannet til mørke hypersthen-granodioritiske bjergarter, hvis plagioklas indeholdt ca. 40 % anorthit, og hvis kalifeldspat indeholdt ca. 7500 ppm barium.

Den lineation og foliation, som især præger gnejsen, er opstået samtidig med, at der blev dannet liggende folder i leptiterne ved Listed. Foldningsaksen dykker 10° – 50° mod N til NNØ. Foldningen er formentlig foregået under Rønne-stadiet og har især præget de østligste $\frac{3}{4}$ af øen.

3) *Hammer-stadiet*. Rønne-stadiets hypersthen-granodioriter blev granitiseret i varierende grad under amfibolitfacies betingelser. Hammergraniten er mest, Rønne-granodioriten mindst granitiseret. Ved granitiseringen skete der en tilførsel af mikroklin, albit og kvarts — mikroklinen havde et meget lille indhold af barium. Samtidig hermed blev de mørke mineraler omdannet fra pyroxener til hornblende, biotit og magnetit, som til dels gik i opløsning og forsvandt.

Under Hammer-granitisingen foregik en foldning med en ny akse, der dykker ca. 15° i retningen mod NV. Herved dannedes den østbornholmske fold, som er en flexurfold, der er overkippet mod vest. Samtidig med foldningen skete en plastisk deformation af gnejserne, så der fremkom konvergent foliation på grund af udtrækning, samt flexurer.

Under Hammer-granitisingen blev aplitterne dannet ved dispers replacering af finkornede bjergarter — ofte i bevægezoner. I kraft af sin kemiske modstandsdygtighed kunne Hammer-granitens randaplit beskytte Vang-graniten mod Hammer-granitisingen.

Et væsentligt led i granitisingen var dannelsen af de talrige legemer og slirer af leukogranit. Koncentrationen af leukograniter er størst i Paradisbakke-migmatiten, hvis flammer består af leukogranit. Langt de fleste leukograniter er dannet ved en lokal, dispers replacering. Replaceringen kan være sket i flexurer, i felter med konvergent foliation, d.v.s. hvor strækning af bjergarten har frembragt lokale lavtryk, og i fuldstændig udeformeret bjergart.

Under granitisingens slutstadium dannedes pegmatiterne. I Hammer-

graniten, hvor granitiseringen var kraftigst, blev pegmatiterne overvejende dannet ved replacering. I den svagere granitiserede gnejs blev pegmatiterne især dannet under selektiv resorption af sidestenen. I Rønnegranodioriten, hvor granitiseringen var svagest, blev pegmatiterne ganske overvejende dannet under dilatation som sprækkefyldninger.

4) *Svaneke-stadiet*. Svaneke-graniten blev dannet ved en granitisering, som er yngre end Hammer-granitiseringen. Svaneke-granitiseringen var hovedsagelig en omordning af de forhåndenværende mineraler, idet tilførslen af materialer var ret ringe. Som følge af sin diskordante natur, må Svaneke-graniten anses for at være post-kinematisk. Svaneke-graniten indeholder lidt epidot. Dette tyder på, at den er dannet ved lidt lavere temperatur end Hammer-graniten, sandsynligvis nær grænsen mellem amphibolitfacies og epidotamphibolit-facies.

Svaneke-graniten var ikke ledsaget af pegmatitdannelse, men har i nogen grad replaceret de pegmatiter, som var dannet under Hammer-stadiet.

5) *Det kratogene stadium*. Endnu senere er det bornholmske grundfjæld blevet gennemsat af forkastninger og diabasgange i flere generationer.

SUMMARY

The Pre-Cambrian of Bornholm

The island of Bornholm is situated in the Baltic Sea (15° E, 55° N) and is a part of the Fennoscandian shield.

The Bornholm Pre-Cambrian consists of granodioritic and granitic rocks, fig. 1, p. 310. A few meta-sedimentary inclusions have been found.

The most important petrographical features are: 1) Relic hypersthene is occasionally found as cores in aggregates of hornblende, biotite, magnetite, and quartz. 2) The plagioclase shows a strong, normal zonation. 3) There are two generations of potassium feldspar: the older one contains ca. 7500 ppm Ba, the younger has a Ba-content varying from 50–5000 ppm. The lowest Ba-content is found in microcline perthite from pegmatites formed during dilation.

Most of the rocks show foliation and lineation, fig. 22, p. 332. On the greater part of the island, the foliation dips 20°–40° towards N–NNE. In the east the foliation forms a flexure fold which disappears to the north.

The foliation often shows a transverse convergence due to stretching. Leucogranites are frequently found inside such fields of converging foliation. They are also common in flexures and in host rocks with undisturbed foliation.

The Svaneke granite is not foliated. The structural map of the Svaneke granite area is based on measurements of the foliation in scattered inclusions.

The Svaneke granite has rather sharp boundaries. The other rocks grade into each other. The course of foliation continues undisturbedly across the boundaries between rocks of different ages.

The following interpretation is offered for the genesis of the Bornholm Pre-Cambrian rocks:

1) *The geosyncline stage*. It is probable that the Bornholm Pre-Cambrian rocks originally were sediments interlayered with basalts.

2) *Rønne stage*. Under granulite facies conditions, the sediments were transformed into dark hypersthene granodioritic rocks. The plagioclase contained ca. 40 % anorthite and the potassium feldspar ca. 7500 ppm Ba. Near Listed on the north coast, banded leptitic gneiss shows nappe folds: their fold axes and axial planes are parallel to the lineation and foliation of the surrounding unbanded gneiss. It is

therefore likely that lineation and foliation originated during folding in the granulite facies period.

3) *Hammer stage*. During the Hammer stage, granitization and flexure folding took place under amphibolite facies conditions.

The hypersthene granodiorites were granitized to a varying degree: the Hammer granite is the more granitized, and the Rønne granodiorite the less granitized rock. Pyroxenes changed to hornblende, biotite, and magnetite, and the concentration of dark minerals decreased. The microcline added to the Bornholm rock complex was very poor in barium—50 ppm. The potassium feldspar contains 2000–5000 ppm Ba in most rocks: a low Ba-content indicates a high degree of granitization.

Structures produced during the deformation include: the major flexure fold in the east, numerous minor flexures, and local convergence of the foliation.

Aplites were formed by replacement of fine-grained rocks, which often were mylonites. Small irregular streaks and patches of leucogranite were formed by replacement.

Pegmatites were formed during the last part of the granitization. In the Hammer granite, most pegmatites were formed by replacement. In the less granitized gneiss, most pegmatites were formed during resorption of the leucocratic minerals of the host rock; the melanocratic minerals were mechanically pushed aside by growth of the pegmatite. In the Rønne granodiorite, most pegmatites were formed during dilation of the host rock. Zonation is common in pegmatites formed either by replacement or during dilation.

4) *Svaneke stage*. The Svaneke granite was formed by a post-kinematic granitization. In the main, the process was a reorganization of the pre-existing minerals, metasomatic addition being of minor importance.

During the Svaneke stage, no pegmatites were formed. It appears, however, that the pegmatites formed during the Hammer stage were partly replaced by the Svaneke-granite.

5) *The cratogenic stage*. Several generations of faults and dolerite dykes cut the Pre-Cambrian rocks of Bornholm during later periods, fig. 33, p. 345.

LITTERATUR

- BARTH, T. F. (1952): *Theoretical Petrology*. J. Wiley & Sons. New York.
- BUBNOFF, S. v. (1931): Zur Deutung des südbaltischen Kluftnetzes. *Geol. Rundschau*. Bd. 22, p. 306.
- (1932): Der Hammergranit von Bornholm. *Fortschritte der Geologie und Palaeontologie*. Bd. XI, Heft 33.
- (1938): Beiträge zur Tektonik des skandinavischen Südrandes. 1. Das Gefüge des Hammergranites auf Bornholm. *Neues Jahrbuch. Min. Beilage Band 79 B* p. 274.
- (1942): Beiträge zur Tektonik des skandinavischen Südrandes. 2. Die älteren Granite Bornholms in Rahmen der svekofennidischen Tektogenese. *Neues Jahrbuch Min. Beilage Band 87 B*, p. 277.
- BUBNOFF, S. v. & R. KAUFMANN (1933): Zur Tektonik des Grundgebirges von Bornholm. *Geol. Rundschau*. Bd. 24. p. 379.
- CALLISEN, K. (1934): Beiträge zur Kenntnis des Granitgrundgebirges von Bornholm. *Danmarks Geol. Undersøgelse II række nr. 50*.
- CAMERON, E. N., JAHNS, R. H., McNAIR, A. H., and PAGE, L. R. (1949): *The Internal Structure of Granitic Pegmatites*. *Econ. Geol., Mono. 2*.
- COHEN, E. & W. DEECKE (1889–90): Über das krystalline Grundgebirge der Insel Bornholm. *IV. Jahresbericht der Geograp. Gesell. zu Greifswald, Aufsatz 2*.
- DRESCHER-KADEN, F. K. (1942): Über die schriftgranitische Kristallisation und ihre Beziehungen zur normalen Silikatmetasomatose granitischer Gesteine. *Chemie der Erde*. Bd. 14, p. 157.
- GRY, H. (1960): *International Geol. Congress, XXI Session, Norden 1960, Guide to the Excursions Nos. A 45 and C 40*.
- JOHANSEN, A. (1931): *A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- MICHEESEN, H. I. (1960): Pegmatites in the Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark. Report from the International Geol. Congress, XXI Session, Norden 1960, part XVII, p. 128-136.
- (1961): Leucogranites in the Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark. Medd. Dansk Geol. Forening. Bd. 14, Hefte 4, p. 297-307.
- MÜNTHER, V. (1945): Sprækkedale og Diabasintrusioner på Bornholm. Medd. Dansk Geol. Foren. Bd. 10. p. 641.
- NOE-NYGAARD, A. (1957): Geologi. 2. udgave, Gyldendal.
- PAULITSCH, P. (1951): Zweiachsige Kalzite und Gefügeregelung. Tschermachs Mineral. Petrograf. Mitt. Bd. 2. p. 180-197.
- (1954): Zusammenhang zwischen technischen Eigenschaften und Gefüge eines Marmors. Radex-Rundschau. Heft 6. p. 206-213.
- QUENSEL, P. (1951): The Charnochite series of the Varberg district on the south-western coast of Sweden. Arkiv f. Min. & Geol. Bd. 1, nr. 10, p. 227.
- RAMBERG, H. (1951): Remarks on the Average Chemical Composition of Granulite Facies and Amphibolite to Epidote Amphibolite Facies Gneisses in West Greenland. Medd. Dansk Geol. Foren. Bd. 12, p. 27.
- (1952): The Origin of Metamorphic and Metasomatic Rocks. University Press, Chicago.
- REITAN, P. H. (1960): The Genetic Significance of Two Kinds of Basified Zones Near Small Pegmatite Veins. Report from the International Geological Congress, XXI Session, Norden 1960, Part XVII, p. 102-108.
- SANDER, B., KASTLER, D. und LADURNER, J. (1954): Zur Korrektur des Schnitteffektes in Gefügediagrammen heterometrischer Körner. Sitzungsberichte Österreich. Akad. Wiss., Mathemat.-naturwiss. Klasse. Abt. I, 163, 6. og 7. Heft, p. 401-424.
- TRÖGER, W. E. (1956): Optische Bestimmung des gesteinsbildenden Minerale. Teil 1. Stuttgart.
- WAHL, W. (1936): Om granitgrupperna och bergskedjeveckningerna i Sverige och Finland. Geol. Fören. Förhandl. Bd. 58, p. 90-101.
- WEGMANN, C. E. (1938): Geological Investigations in Southern Greenland, part I: On the Structural Divisions of Southern Greenland. Medd. om Grønland. Bd. 113, nr. 2.