

# LITERATURMELDING OG KRITIKK

## STRUKTURUNDERSØKELSER I ERUPTIVER

MED 8 TEKSTFIGURER

Tektonikken har i de senere år gjennomgått en rivende utvikling. Nye områder er blitt dradd inn under dens arbeidsfelt, og nye metoder er utviklet, som gir større muligheter for å dra sikre slutninger om bergartenes tektoniske historie. Felles for disse metoder er at de krever meget detaljarbeide og stor tålmodighet; men også at arbeidet lønner sig, man får sikrere grunn å stå på.

Arbeidet har vært drevet på to fronter. HANS CLOOS og medarbeidere har vist at eruptivene, tross sin ofte tilsynelatende retningsløse struktur, kan ha vel markerte strukturelementer, som gir verdifulle opplysninger om bergartenes dannelse og forholdene under intrusjonen. Målemetodene kan anvendes på krystallinske skifre, selv om problemene blir andre. Her har særlig R. BALK og ERNST CLOOS ydet fremragende arbeide.

B. SANDER og W. SCHMIDT har drevet statistiske undersøkelser av orienterte tynnslip. Mineralkornenes orientering er avhengig av de bevegelser bergarten har undergått, og kan brukes til å rekonstruere disse. Slike undersøkelser har størst interesse for krystallinske skifre. I mange tilfelle hvor den oprinnelige struktur er makroskopisk utvasket ved senere deformasjon, vil den kunne påvises ved den mikroskopiske undersøkelse.

Disse makro- og mikroskopiske undersøkelsesmetoder støtter hverandre gjensidig. De har fått stor utbredelse både i Europa og Amerika, og har gitt mange verdifulle resultater. De vil uten tvil kunne anvendes med fordel også på norske forhold.

I det følgende skal gis en kort fremstilling av CLOOS' metoder, vesentlig bygget på en nylig utkommet bok av R. BALK: *Structural Behavior of Igneous Rocks*. Geol. Soc. of America Memoir 5. Boken gir en fortrinlig innføring i denne metode og dens problemer, og kan anbefales til alle som ønsker å få et nærmere kjennskap til den.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> En klar og grei oversikt, som også omfatter krystallinske skifre og dessuten behandler SANDERS metoder, finner man i ERNST CLOOS: *The Application of Recent Structural Methods in the Interpretation of the Crystalline Rocks of Maryland*. Maryland Geol. Survey Vol. XIII, 1937, Part I, pp. 27—105.

Dette arbeidsfelt blev til å begynne med kalt granitt-teknikk. Navnet er uheldig, da metoden kan anvendes på alle eruptiver. Magma-teknikk turde passe bedre.

Metoden bygger på det prinsipp at et eruptivfelts form og indre struktur avhenger av de forhold hvorunder magma trengte frem og størknet, og at de kan brukes til å dra slutninger om disse forhold.

Mineralene kan være orientert så det fremkommer en linjestruktur (flow lines) eller planstruktur (foliation, flow layers). Disse strukturelementers retninger måles over hele feltet, likeså retningen av innslutninger, av aplitt- og pegmatittganger og andre ganger, deres struktur og dens forhold til den omgivende bergarts struktur. Retningene av sprekkesystemer og glideplan måles. De sprekkesystemer som er dannet under eruptivens størkning, står i lovmessig sammenheng med dens struktur. Er bergarten senere deformert, vil de nye sprekkesystemer mangle et slikt forhold.

Selv et lite felt vil, når alt dette skal tas med, kreve hundreder av målinger, og ved et større felt går tallet op i tusener. Feltet blir nøye trålet igjennom og dekket med et nett av observasjoner. Målingene settes inn på et kart, og man prøver å sammenfatte dem til et bilde. Tydningen kan være vanskelig, men man vil i alle tilfelle ha samlet en rikdom med verdifulle opplysninger om feltets struktur, et solid grunnlag å diskutere på.

Vi skal først se litt på de enkelte strukturelementer, og derefter på hvordan de optrer i eruptivene.

## STRUKTURELEMENTER

Vi kan skille mellom de egentlige strømningsstrukturer, dannet ved bevegelse av utkrystalliserte bestanddeler i magma, og de primære sprekkesystemer, dannet umiddelbart etter størkningen under påvirkning av de samme krefter som bestemte strømningsstrukturens art og orientering.

### *Strømningsstrukturer.*

#### 1. Linjestruktur (flow lines, Streckung).

Tømmerstokker som flyter nedover en elv, vil gjerne ordne sig med sin lengderetning parallelt strømmen, den ene etter den annen i lange rekker.

Er et magma med en del utskilte krystaller i bevegelse, vil krystaller med ulikeverdige akser, f. eks. hornblende, ordne sig med sine lengste akser innbyrdes parallelle. Bergarten får på denne måte en linjestruktur, som kan være mer eller mindre fremtredende, fra den såvidt kan anes av et øvet øie, til den blir det mest fremtredende trekk ved bergarten. Den kan også mangle helt. Den er gjerne lett å se hvor bergarten har porfyriske innsprengninger, likeså hvis den har hornblende,

mindre lett ved biotitt, men også kvarts- og feltspatkorn kan ha sine største dimensjoner parallele en bestemt retning. I en bergart med lite mørke mineraler skal det adskillig øvelse til å opdage den. Optrer den alene, vil et snitt loddrett dens retning vise retningsløs struktur, mens alle snitt parallelt retningen vil vise linjestruktur (Fig. 1).

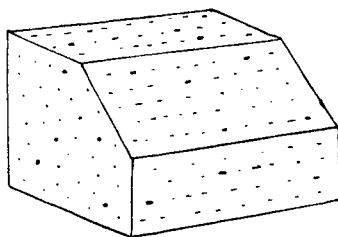


Fig. 1. Ren linjestruktur.

Undertiden finner man klumper av mørke mineraler som er dradd ut til spindler parallelt linjestrukturen. De enkelte korn i en spindel behøver ikke være ens orientert. Spindelens opprinnelse kan være forskjellig, de kan skyldes sammenklumpning av tidlig utskilte basiske mineraler, eller de kan være rester av innskuttet materiale.

Linjestrukturen viser retningen for maksimal forlengelse i magma. Denne faller i enkelte tilfelle sammen med magmas bevegelsesretning, men i de fleste tilfelle vil de to retninger danne en større eller mindre vinkel. I vulkanrør finner man ofte vertikal linjestruktur, altså parallelt bevegelsesretning. I et massiv av en dypbergart, en pluton, vil forholdene være mer innviklet. Det viser sig at man ofte får en strekning av plutonen i en retning som er nogenlunde loddrett magmas bevegelsesretning. Denne strekning registreres i linjestrukturen, som da vil danne en bue (Fig. 4, 4). I midten av plutonen vil linjestrukturen stå loddrett magmas bevegelsesretning, og når man nærmer sig grensene, vil den nærme sig til å bli parallell med disse. Vinkelen mellom linjestruktur og magmas bevegelsesretning vil altså avta mot grensene, og kan gå ned til  $0^\circ$ .

Linjestrukturens horisontalprojeksjon har i regelen en konstant retning. Det viser at den horisontale utvidelse av plutonen har foregått sterkest i en bestemt retning.

## 2. Planstruktur (foliation, flow layers, Schlieren).

En ordning av mineralene i parallelle eller subparallelle plan er meget almindelig i eruptiver. Der er alle overganger fra en tilsynelatende helt massiv bergart til en som er helt gneisaktig.

Bladige mineraler som glimmer ordner sig i parallelle plan, likeså tavleformete porfyriske innsprengninger, f. eks. feltspat.

En gruppe av bergartens mineraler, særlig de basiske, kan være ordnet i striper eller bånd, så man får de såkalte flow layers (Schlieren). Størrelsen kan variere meget, og grensene kan være skarpe eller flytende. De kan være rette, bøiet eller foldet.

Optrer planstrukturen alene, vil snitt parallelt dens plan vise retningsløs struktur (Fig. 2).

Inneslutninger av sidestenen vil gjerne ordne sig med sin lengste akse parallell linjestrukturen, eller med sin korteste akse loddrett planstrukturen. Deres indre struktur kan ha helt avvikende retninger.

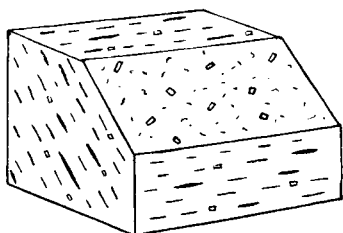


Fig. 2.

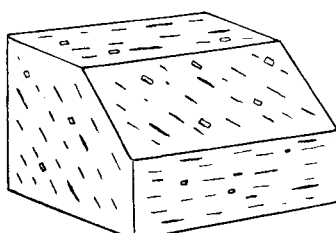


Fig. 3.

Fig. 2. Ren planstruktur.

Fig. 3. Planstruktur og linjestruktur sammen.

Planstrukturen er best utviklet nær grenser og omkring større inneslutninger. Den kan være så fremtredende at grensesonen blir rent gneisaktig.

Linjestruktur og planstruktur opptrer ofte sammen (Fig. 3). En almindelig regel er at linjestrukturen ligger i planstrukturens plan. Fra denne regel kjennes bare noen få undtakelser, som skyldes spesielle forhold.

#### *Primære sprekkesystemer.*

Primære sprekkesystemer er de som er dannet under og umiddelbart etter eruptivens størkning, og hvis retninger står i lovmessig sammenheng med de da virkende krefter. Sprekkesystemer dannet ved senere deformasjon mangler en slik sammenheng. Isolerte målinger av sprekkesystemer har derfor liten betydning for forståelsen av en plutons struktur. Man må samtidig måle strømningsstrukturene og prøve å sette sprekkesystemene i relasjon til dem. Bare de sprekker som viser en slik relasjon, kan i regelen forklares tilfredsstillende.

Sprekker som antas dannet utelukkende ved kontraksjon, f. eks. søiledannelsen i basalt, blir ikke behandlet her.

Primære sprekkesystemer finnes i de fleste eruptiver, men mangler i det indre av enkelte granittmassiver. De kan inndeles i 6 grupper, hvorav de 4 skal omtales her, og de to andre i et senere avsnitt (s. 391). Først skal gis en tabell over de engelske og tyske betegnelser, med forslag til norske.

Engelsk	Tysk	Norsk
cross joints	Q Querklüfte	tverrspalter
longitudinal joints	S Längsklüfte	lengdespalter
diagonal joints	Diagonalklüfte	diagonalspalter
primary flat joints	L Lagerklüfte	flate spalter

### Tverrspalter (cross joints, Q).

Tverrspalter er spalter som står loddrett eller tilnærmet loddrett på eruptivens linjestruktur. De er som regel lenger og rettere enn andre spalter, og er ofte klædt med hydrotermale mineraler, særlig kloritt, muskovitt, kvarts, svovelkis eller flusspat.

Aplitt- og pegmatittganger går meget ofte parallelt disse spalter. Spaltene må altså for en stor del dannes samtidig med at restmagma presses ut.

Tverrspaltene må opfattes som tensjonsspalter. Eruptivens linjestruktur viser retningen for maksimal forlengelse i det størknende magma. Hvis de krefter som bevirker denne forlengelse fortsetter å virke etter størkningen, vil resultatet bli en opsprekning loddrett linjestrukturen.

Tensjonsspalter kan lages eksperimentelt ved å presse sammen en blokk slik at det er liten friksjon mellom blokk og stempel. Materialet kan da lett vike ut til siden, og det dannes spalter loddrett denne undvikelsesretning, altså parallelt trykkretningen. Er det stor friksjon mellom blokk og stempel, så massen ikke får vike ut til siden, dannes to sett spalter omtrent loddrett på hverandre, og hvis vinkel halveres av trykkretningen. Disse spalter, som svarer til diagonalspalter, faller sammen med retningene for største tangentialspenning, de såkalte skjærspenningsflater (Scherflächen).

Et tegn på at tverrspaltene er tensjonsspalter, er også de tallrike ganger som ofte følger dem. I Mull i Skottland er den forlengelse som gangenes bredde representerer, beregnet å utgjøre op til  $\frac{1}{8}$  av hele plutonens lengde.

Tensjonsspalter. Undertiden mangler linjestruktur i det indre av et eruptivmassiv, men spalter som svarer til tverrspalter finnes likevel. I slike tilfelle bør man helst bruke uttrykket tensjonsspalter, siden det ikke er nogen linjestruktur å sette dem i relasjon til; men man må selvsagt være meget omhyggelig med å konstatere at de virkelig svarer til tverrspalter i feltets ytre deler.

### Lengdespalter (longitudinal joints, S).

Lengdespalter er steile spalter som er parallelle med linjestrukturen. De er best utviklet hvor denne er tilnærmet horisontal. De er ikke så glatte og jevne som tverrspaltene, mineralbelegget — når det finnes — er tynnere, og består av andre mineraler. Hos tverrspaltene var kloritt mest fremtredende. Her spiller den en underordnet rolle. Kalkspat, muskovitt, epidot og flusspat er de viktigste.

Lengdespalter ligger ofte tett sammen, og bergarten mellom dem er undertiden kaolinisert eller epidotisert.

Parallelt med lengdespaltene går ofte aplitt- og pegmatittganger, kvartsårer eller basiske ganger. Dette viser at spaltene dannes under størkningen.

Lengdespalter er temmelig almindelige i eruptiver, men deres dannelsesmåte er ennå ikke helt klarlagt. Linjestrukturen gir bergarten en viss mekanisk svakhet, og det må antas at spalter som følger linjestruk-

turen dannes forholdsvis lett. I enkelte tilfelle kan spaltene skyldes granittens kontraksjon ved avkjøling. Hvor magmas bevegelsesretning har vært overveiende horisontal, kan man tenke sig at den først størknete randsone er brutt op av en senere injeksjon. Den vil da sprekke op i de retninger hvor sprekkene danner sig lettest, nemlig parallelt linjestrukturen.

I mange plutoner finnes ganger som følger tverrspaltene, men ingen som følger lengdespaltene. Dette tyder på at lengdespaltene er holdt lukket av trykket.

CLOOS brukte for disse spalter symbolet S (av Spaltseite). Det har imidlertid ført til forveksling med SANDERS S-flater, som er „ . . . Flächenscharen mechanischer Inhomogenität, wie sie mehr oder weniger eindeutig in Teilbarkeitsversuchen der Natur, des Geologen und des Technikers zu Worte kommen.“<sup>1</sup> altså skifrihetsflater uten hensyn til opprinnelse. Det vil derfor være sikrest å bruke betegnelsen lengdespalter.

#### Diagonalspalter (diagonal joints).

Ved diagonalspalter forstås steile spalter som danner omkring 45° med linjestrukturens retning. De er skjærspenningsflater, dannet ved et tilnærmet horisontalt trykk (s. 383).

De kan følges av aplittganger, og kan være klædt med kloritt, epidot og flusspat. Undertiden er bare et sett utviklet, skjønt begge er mekanisk ekvivalente. Vinkelen med linjestrukturen er ofte over 45°, de nærmer sig tverrspaltenes retning. Ofte følges de av forkastninger, som da alltid har bidratt til å forlenge bergarten i linjestrukturens retning.

#### Flate spalter (primary flat-lying joints, L).

En eruptiv har ofte aplitt- eller pegmatittganger, kvartsårer eller basiske ganger med liten fallvinkel. I de tilfelle har magma hatt en tendens til å danne flatt-liggende spalter. Disse spalter er ofte klædt med kloritt, muskovitt eller svovelkis. De må ikke forveksles med benkning, som er sekundære svakhetsflater, parallelle den nuværende overflate. De primære flate spalter er orientert efter plutonen som helhet, uavhengig av den lokale overflate. Hvor flattliggende ganger eller mineralbelegget på spaltene mangler, kan det være meget vanskelig å skille de to typer fra hverandre.

Flate spalter dannes lettest i massiver med flat øvre begrensning, men årsakene til deres dannelse er usikre. Faktorer som må antas å ha betydning, er kontraksjon ved størkning, forskjellig størknings hastighet hos de forskjellige deler av randsonen, og forskjell i vekten av de overliggende masser. Planstruktur i bergarten vil lette deres dannelse, men den er ingen betingelse. Bergartens linjestruktur ligger ofte i deres plan, men det er ingen absolutt regel.

<sup>1</sup> B. Sander: Gefügekunde der Gesteine 1930 s. 99.

## STRUKTURMØNSTRE

Når vi skal se på hvorledes de forskjellige strukturelementer kan optræde i en eruptiv, vil det lønne sig å begynne med ganger, da forholdene i dem er mere oversiktlige.

*Ganger.*

CLOOS har innført begrepene konform og diskonform struktur. I en konform eruptiv går både planstruktur og linjestruktur parallelt grensen når man nærmer sig denne. I en diskonform eruptiv er det ingen sammenheng mellom grenseflater og struktur, strukturelementene kan skjære grensene under hvilken som helst vinkel.

Det alt overveiende antall ganger er konforme.

I større ganger er ofte midten massiv, men strømningsstrukturen kan også være utviklet over det hele. Den er alltid mest markert nær grensene. Det kan dels optræde planstruktur, dels linjestruktur, dels begge sammen. Deres dannelse skyldes den friksjon som opstår når magma strømmer langs en stasjonær vegg.

Vi kan tenke oss at en kule av magma på grunn av friksjonen deformeres til et ellipsoid. Dette ellipsoid vil orienteres slik at den minste akse, som er meget liten, vil stå loddrett grenseflaten. De to andre akser ligger da i et plan parallell denne. Her kan inntreffe 3 tilfelle.

1. De to største akser er likeverdige. Kule deformeres til et diskoslignende legeme parallellt veggen. Vi får bare utviklet planstruktur.

2. De to største akser er forskjellige, men av samme størrelsesorden. Der dannes både planstruktur og linjestruktur. Den siste ligger i planet og angir deformasjonsellipsoidets største akse, d. v. s. retningen for den maksimale forlengelse i magma.

3. En akse er betydelig større enn de to andre. Det dannes bare linjestruktur.

Hvorfor man snart får den ene, snart den annen type, blir omtalt under plutoner.

Bergartens mineralsammensetning har betydning for hvilke strukturer man iakttar. Er det meget av stenglige mineraler, vil linjestrukturen lett bli fremtredende, er de bladige mineraler dominerende, vil planstrukturen bli best utviklet. I en porfyr med intratelluriske innsprengninger kan disse være orientert, selv om grunnmassen ikke er det. Og omvendt kan man i en orientert grunnmasse finne ikke orienterte innsprengninger, som er dannet på stedet.

Magmas innhold av flyktige bestanddeler spiller også en rolle for strukturen. Jo mere det er av dem, jo dårligere blir strømningsstrukturen utviklet.

Hvis en bergart fullstendig mangler strømningsstruktur, må det enten skyldes at magma ikke har vært i bevegelse under størkningen, eller at bevegelsen overalt var ensrettet og like sterk.

Diskonforme ganger er som nevnt sjeldne. Vi kommer tilbake til dem under plutoner. Deres dannelse skyldes at de krefter som drev magma frem, også har påvirket den omgivende bergart. Magma og side-  
sten har reagert som en enhet på kreftenes påvirkninger, og de lokale grenseflater har tappt sin betydning som strukturbestemmende faktorer.

Sprekkesystemer. Hvorledes gangenes sprekkesystemer forholder sig til strømningsstrukturen, er ennå lite kjent. De eneste spalter man har påvist med sikkerhet, er tverrspalter.

### *Massiver.*

#### Strømningsstruktur.

Her gjelder det samme som for ganger, at strukturen er best utviklet nær grensene. Man kan ha planstruktur, linjestruktur eller begge sammen. Hvis den nuværende overflate ligger nær massivets oprinnelige øvre grense, finner man gjerne strømningsstruktur over hele feltet. Hvis et dypere snitt er blottet, vil de centrale deler ofte ha retningsløs struktur. Linjestrukturen når gjerne lenger inn mot midten av feltet enn planstrukturen.

Strukturtyper. Planstrukturen går like ved grensen parallelt denne, og slirene ligger tett. Denne grensesone kan variere i tykkelse fra noen få cm til flere hundre meter. Innover mot midten blir gjerne fallvinklen mindre, og er kjernen ikke massiv, vil man ofte finne et område med horisontal planstruktur. Denne eruptivens topp kan være nogenlunde i midten av feltet, eller nær en grense. I første tilfelle får man en symmetrisk dom, i siste en asymmetrisk. Til siste type hører bl. a. det kjente granittfelt i Riesengebirge. (Fig. 5).

En pluton av denne type kaller BALK „dome of flow layers“ eller „schlieren dome“ (Fig. 4, 1). Enkelte felter har linjestruktur, andre mangler den.

Er de centrale deler massive, får man ingen fullstendig dom. BALK taler da om „arch of flow layers“ eller „schlieren arch“. (Fig. 4, 2). Til denne type hører bl. a. granodiorittene i Sierra Nevada.

I mange massiver er linjestrukturen den dominerende. Planstrukturen spiller en underordnet rolle, eller mangler helt.

Man kunde tenke sig at linjestrukturen vil danne en kuppel i likhet med planstrukturen. Den måtte da fra et centrum spre sig stjerneformet i alle retninger. Eftersom man gikk over feltet, vilde linjestrukturen ustanselig skifte retning. Denne type, som BALK kaller „dome of flow lines“, er teoretisk mulig, men hittil ikke påvist i naturen (Fig. 4, 3).

Tvertimot, i alle kjente massiver utmerker linjestrukturen sig ved å ha en påfallende konstant retning. Den faller mot grensene på begge sider, og hvis den er utviklet over hele feltet, kan man finne en akse langs hvilken den er horisontal. Denne type kaller BALK „arch of flow lines“ (Fig. 4, 4).



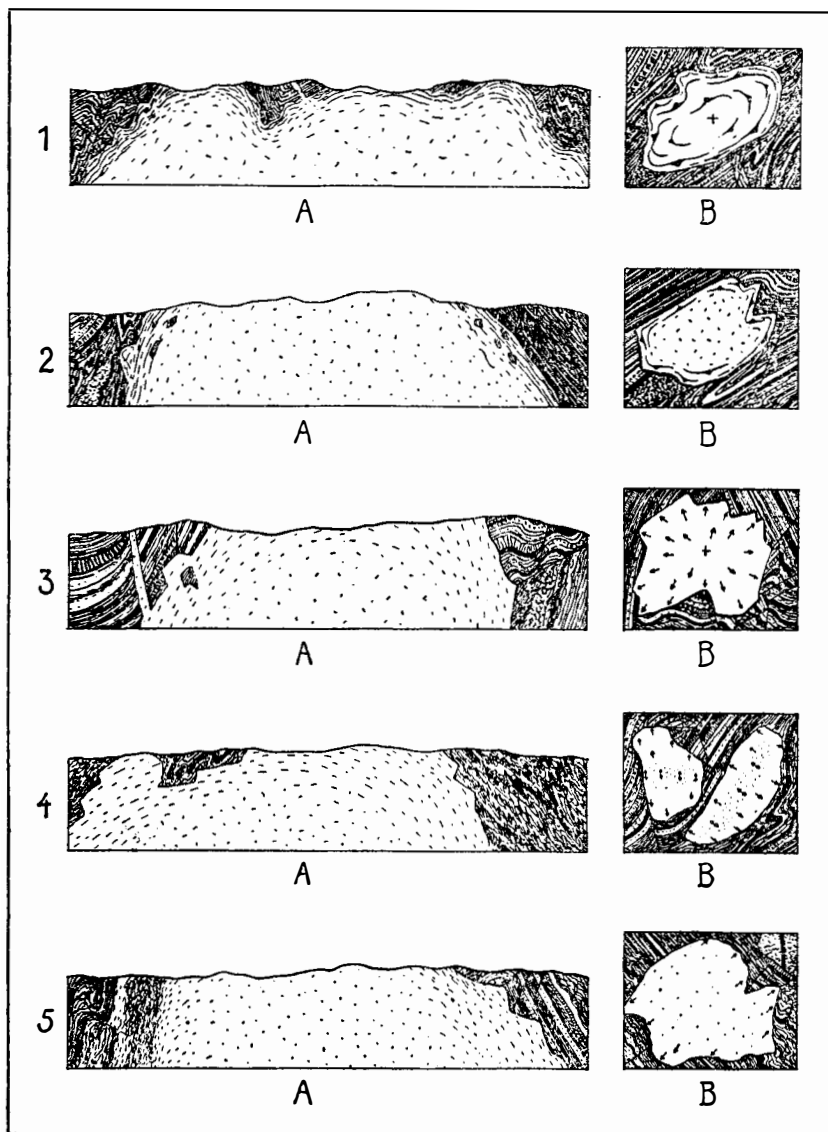


Fig. 4. Strukturtyper i plutoner (efter BALK). Kart og profil svarer ikke alltid nøiaktig til hverandre.

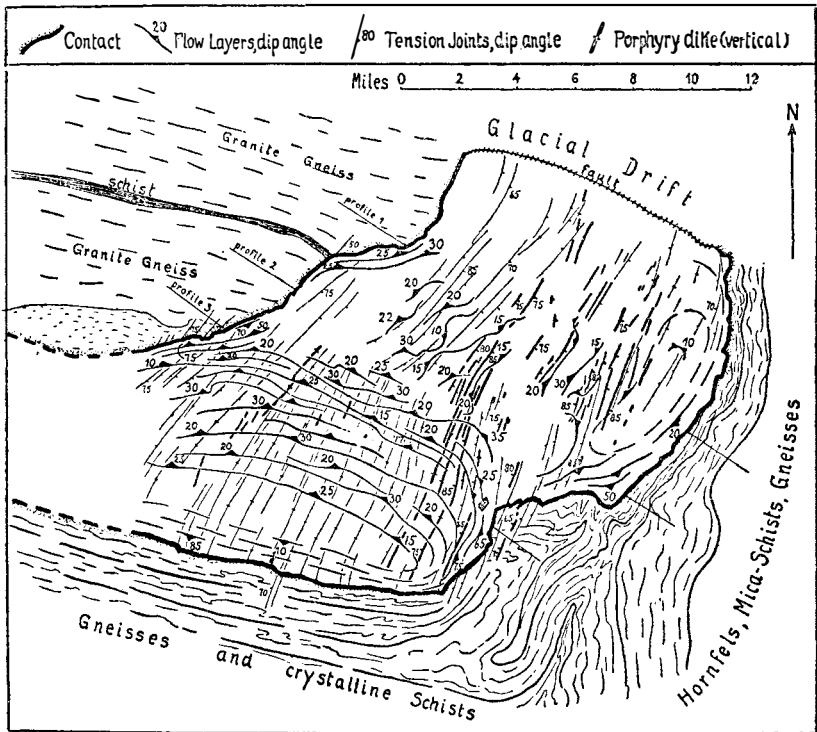


Fig. 5. Strukturkart over granittfeltet i Riesengebirge (efter BALKS gjengivelse av HANS CLOOS' kart). — Her optrer kun planstruktur, og den er utbredt over hele feltet. Den danner to topper, en nær sydgrensen, med steilt fall mot S og svakere mot N, den annen nær østgrensen, med steilt fall mot OSO og svakere mot VNV. CLOOS antar at magma har trengt op under de to topper, og at sidestenen har gitt mest etter i N og V. Tensjonsspaltene har samme retning i begge domer, men motsatt fall, de faller i begge inn mot kjernen.

Er det indre av feltet massivt, finner man bare linjestruktur langs randen, konstant i retning, men med motsatt fall langs de to sider. Dette tilfelle skiller han ut som „incomplete arch of flow layers“ (Fig. 4, 5).

Avvikende strukturtyper. Enkelte plutoner passer ikke inn i det system som er antydnet ovenfor. Det gjelder særlig de traktformete massiver (Fig. 6), hvor planstruktur og linjestruktur faller inn mot midten, mens det normale er at de faller utover mot grensen. Traktformen finnes særlig hos basiske og intermediære bergarter, f. eks. Sulitelmafeltets gabbro-fakolitt. De har i regelen en vel utviklet planstruktur, mens linjestruktur er meget sjelden. En del av de kjente massiver antas å være storknet meget nær overflaten.

I surere traktformete massiver kan opptre linjestruktur. Slike massiver er sjeldne, de hittil kjente er knyttet til det store kanadiske skjold.

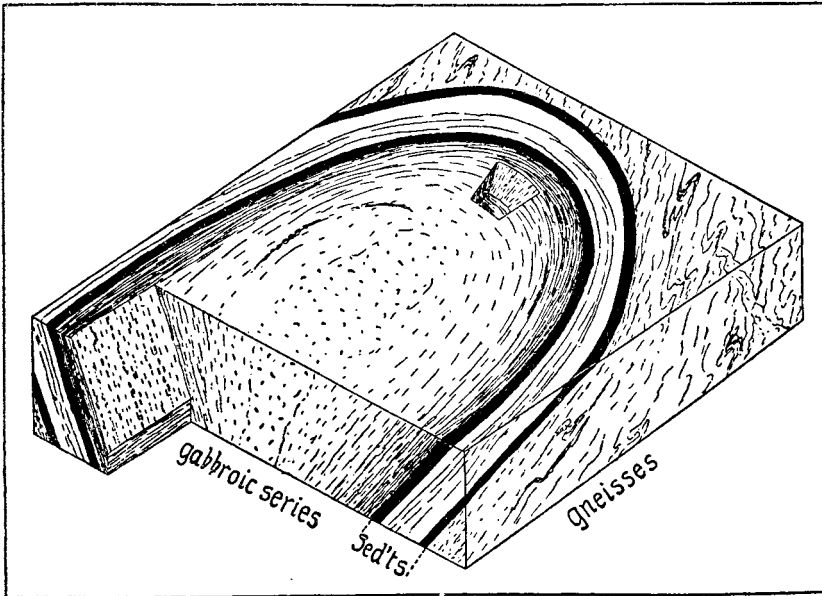


Fig. 6. Traktformet basisk intrusiv (etter BALK). — Trakten kan være mer eller mindre dyp. Kjernen er ofte massiv og består av surere bergarter, f. eks. granitt. Mange massiver ligger i en skål av sedimenter, som hviler på eldre gneiser. På fig. er tegnet inn linjestruktur, men det er usikkert om den finnes i disse bergarter.

At de har fått linjestruktur i motsetning til gabbroene, kan skyldes større viskositet og langsommere størkning.

En annen avvikende strukturtype er den hvor man bare finner steiltstående strømningsstruktur. Det kan være planstruktur eller linjestruktur eller begge, begrenset til randsonen eller over det hele. Man finner ikke avtagende fallvinkler mot midten, som kunde tyde på domstruktur. I sin struktur ligner de vulkanrør, men deres dannelsesmåte er foreløbig uklar. Enkelte massiver antas å være størknet nær overflaten, andre på større dyp.

Betingelsene for dannelse av planstruktur og linjestruktur.

Efter at vi har fått en kort oversikt over de forskjellige struktur-mønstre i eruptivmassiver, faller det naturlig å se litt på spørsmålet: hvorfor utvikles dels bare planstruktur, dels bare linjestruktur, dels begge sammen?

Følgende punkter kan tjene til å belyse spørsmålet.

1. Når begge strukturer optrer sammen, har linjestrukturens dannelsesperiode vart noget lenger enn planstrukturens, da den er mere konstant i retning. Det vil si at retningen for maksimal forlengelse er konstant under størkningens senere del.

2. Hvis granitt optrer sammen med mere basiske bergarter, vil disse gjerne ha en vel utviklet planstruktur, mens den litt yngre granitt har vesentlig linjestruktur.

3. De dynamiske enheter som angis av planstrukturen, er mindre enn de som angis av linjestrukturen. Flere enheter angitt av planstrukturen kan ha samme system av linjestruktur.

4. Hvis man i et bergartsmassiv finner en type med intratelluriske porfyriske innsprengninger og en type uten, vil bergarten med innsprengninger gjerne ha planstruktur, den andre linjestruktur som mest fremtredende element.

5. Er massivets grenser uregelmessige, dominerer gjerne linjestrukturen, er de regelmessige, sees mest planstruktur.

På disse forhold gir CLOOS følgende forklaring.

I begynnelsen av en intrusjon vil sidestenen opføre sig som en relativt stiv, resistent masse. I den trenger inn et meget mobilt magma, som enten er rent likvid, eller har suspendert utskilte krystaller. Dette magma vil møte motstand langs grensene. På et tidlig stadium er det bare her bevegelsen blir retardert. Derfor vil de utskilte krystaller bli dradd ut i slirer parallelle nærmeste vegg. Bredden av en slik randsoner med slirer kan veksle fra få cm til over tusen meter. BALK mener at brede sliresoner skyldes stort hydrostatisk trykk ved siden av det kinetiske trykk, og dessuten langsom størkning under stadig bevegelse. Disse betingelser krever et stort dyp, og dette kan forklare hvorfor grunnfjellet har så mange gneisaktige intrusjoner.

Hvis en intrusjonsperiode begynner med at små rum fylles av magma, vil de eldste bergarter kunne bli sterkt foliert, ja endog skifrige. Da de første intrusjoner gjerne er basiske, vil disse bergarter ofte bli sterkere foliert enn de surere. I samme retning virker at basiske magma gjerne har en betydelig mengde utskilte krystaller.

Eftersom stadig mer magma trenger inn, vil sidestenenens mekaniske motstand svekkes, og grenseflatene taper sin betydning som friksjonsflater. Friksjonen blir fordelt over en bredere sone gjennom tallrike sprekkedannelser i sidestenen. Denne begynner mer og mer å delta i magmas bevegelse. Den skarpe motsetning mellom magma og sidesten er forsvunnet.

Magma vil presse på sidestenen i alle retninger. Resultatet av presset vil som regel bli størst i en bestemt retning, som er uavhengig av de lokale kontakter og konstant over et større område. Det blir altså en endring i den dynamiske plan for intrusjonen. Hvis vi har en normal differensiasjonsfølge, vil de rene granitter krystallisere i dette stadium og i sin struktur registrere de nye forhold. Det synes som om granitter med intratelluriske bestanddeler er tilbøielige til å krystallisere før dette stadium er nådd.

Som en følge av endringen i den dynamiske plan, vil i dette annet stadium av krystallisasjonen bli utviklet linjestruktur. Den kan ha konstant retning over flere hundre km, mens planstrukturen kan variere sterkt. Hvor denne strekning av plutonen påvirker et parti som allerede

har planstruktur, vil det dannes linjestruktur i planstrukturens plan. De enkelte mineralkorn er sannsynligvis utkrystallisert tidligere, men har ennå så pass frihet at de kan bevege seg i dette plan. I noen få tilfelle (f. eks. Sierra Nevada) har linjestrukturen mellom slirene et svakere fall enn planstrukturen og ligger ikke i dennes plan. Det kan skyldes at slirenes mineraler hadde mistet sin bevegelsesfrihet, mens det mellomliggende magma ennå var så mobilt at linjestruktur kunde dannes. Dette stemmer med at et størknende magma blir stadig mer rigid, og når det er næsten størknet vil det bare kunne bøies i svake buer, mens de tidlig dannede slirer kan ha steilere fall.

Et magma som begynner å krystallisere under de endrede forhold, vil ikke danne slirer, bare linjestruktur, som kan være meget svakt utviklet. Dens retning har ingen forbindelse med sidestenes struktur eller plutonens form, og vi får således en forklaring på de diskonforme strukturer.

### Sprekkesystemer.

Sammenhengen mellom sprekkesystemer og strømningsstruktur er ikke helt utredet. Forholdene er klartest i domformete massiver. Foruten de nevnte 4 grupper av sprekker finnes to andre, nemlig randopskyvninger, som bevirker vertikal forlengelse av plutonen, og flate forskyvninger, som bevirker horisontal utvidelse. De første finnes ved steile kontakter, de siste nær plutonens tak.

Vi skal se litt på de enkelte spaltetyperes optreden i et massiv.

Tverrspaltene står som nevnt omtrent loddrett linjestrukturen. Danner denne en bue, vil spaltene danne en vifte. Denne vifte har en mindre „krumning“ enn den som svarer til linjestrukturen, om vinkelen overalt var  $90^\circ$ , og sprekken fortsetter ut i sidestenen, i Sierra Nevada inntil 3 km. Dette viser at også sidestenen har vært utsatt for strekning, og at spaltene tilhører det annet stadium av intrusjonen. Selv store inneslutninger av sidestenen har ingen innflytelse hverken på linjestruktur eller tverrspalter.

Hvis sidestenen er meget opsprukken før intrusjonen, vil strekningen kunne benytte sig av disse spalter, og det dannes ikke tverrspalter.

Regionale tensjonsspalter. En intrusjon begynner ofte med mindre masser, som senere følges av større. Det kan da inntreffe at retningen for maksimal forlengelse av magma forandrer sig under intrusjonen. Da vil det utvikles et nytt system av tensjonsspalter, som er konstante i retning over store strøk, og som står loddrett den nye strekningsretning, mens de eldre tverrspalter står loddrett linjestrukturen og kan variere en del fra sted til sted.

Hvis det ikke blir nogen vesentlig forandring av strekningsretningen, vil slike spalter ikke bli dannet.

Randspalter og randopskyvninger. I massiver med steile grenser sees ofte et sett spalter som faller  $20-45^\circ$  inn mot massivet. Aplitt- og pegmatittganger og kvartsårer følger dem ofte. Disse spalter

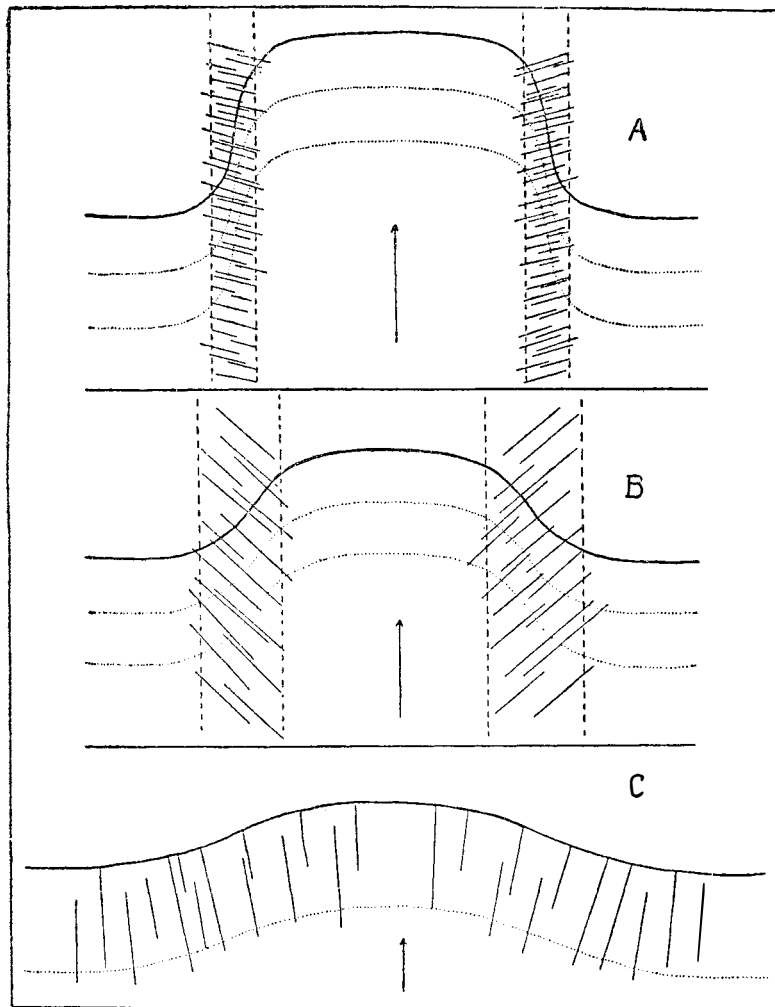


Fig. 7. Sprekkesystemenes avhengighet av materialets fasthet (etter BALK). — Ved A presses en forholdsvis bløt masse frem mellom stasjonære vegger. Strekingen foregår i en smal grensesone (mellem de strekede linjer). Dens retning er nær vertikal, og det dannes næsten horisontale tensjonsspalter. Ved B er materialet fastere, strekningssonen blir bredere og strekningens retning mindre steil, tilsvarende får spaltene en større helling. Ved C bøies en fast masse. Strekingen foregår over det hele, strekningens retning blir henimot horisontal, og det dannes en vifte av steiltstående spalter. Spaltene i A og B svarer til randspaltene i et massiv, spaltene i C til de noget yngre tensjonsspalter.

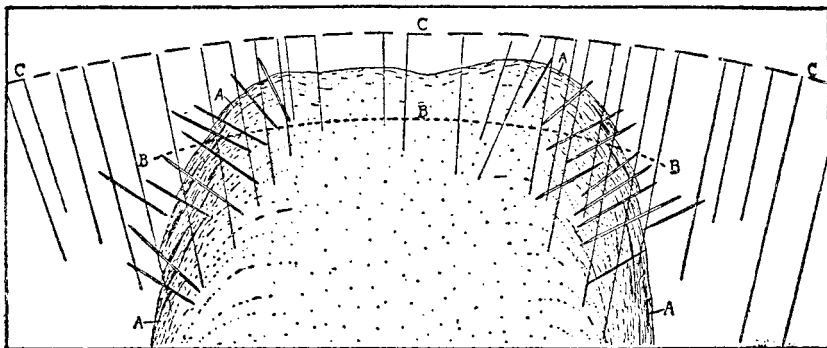


Fig. 8. Strømningsstrukturer og sprekkesystemer i et idealmassiv (etter BALK). — Eldst er planstrukturen A. Derefter er dannet randspalter, med eller uten forskyvninger. De følges av en rekke ganger (doble linjer). Yngre er linjestrukturen, som følger buen B—B. Yngst er tverrspaltene, som danner en vifte orientert etter en større bue C—C, og som også gjennomsetter sidestenen.

kan ha stor økonomisk betydning. De gullførende kvartsganger i Sierra Nevada er således av denne type.

Disse spalter er tensjonsspalter, men dannet på et tidligere stadium enn tverrspaltene. Vi tenker oss en intrusjon med tilnærmet vertikal magmabevegelse (Fig. 7). I begynnelsen vil magma være forholdsvis lettbevegelig og friksjonssonen ganske smal. Det dannes slirer parallelt de steile vegger, og randsonen begynner å størkne. På grunn av den fortsatte vertikale bevegelse vil den størknede rand strekkes, vi får randspalter, som vil stå omtrent loddrett slirene. Da de er litt yngre enn slirene, vil friksjonssonen være bredere, og strekningsretningen ikke lenger rent vertikal, de vil derfor falle inn mot massivet. Når de følges av forkastninger, vil de øvre deler skyves ut fra massivet, hvilket betyr en vertikal forlengelse av randsonen. Slike forkastninger tyder på at vertikale bevegelsen i magma har vært særlig sterk.

Eftersom magma størkner mer og mer, vil friksjonssonen bli bredere, vi kommer inn i det annet stadium av intrusjonen. Det vil dannes linjestruktur, bestemt av den regionale strekningsretning. Derefter dannes tverrspaltene eller tensjonsspaltene som en bred vifte. Da opptrer intrusiv og sidestene som en fast masse. (Fig. 8.)

Flate forskyvningsplan (strekkflater). I mange massiver opptrer nær taket flattliggende forskyvningsplan, hvis retning kan variere, men hvis glidestriper overalt er parallelle bergartens linjestruktur. De er dannet ved at massivet har utvidet sig i horisontal retning etter at randen er størknet, på samme måte som randspaltene skyldes vertikal forlengelse av massivet etter at randen er størknet. CLOOS har kalt disse flater Streckfläche. Da de kan opptre selv om linjestrukturen mangler, har BALK valgt å kalle dem „flatlying normal faults“, og reservere „Streckfläche“ for de tilfelle hvor man kan påvise sammenhengen med linjestrukturen.

Fallvinkelen for disse forskyvningsplan når sjelden op til  $45^\circ$ . De er sannsynligvis litt eldre enn de fleste tverrspalter. De er mest utbredt i massiver med flat eller svakt hvelvet overflate, og kan tyde på at intrusiven har sine største dimensjoner i horisontal retning, mens et massiv med overveiende randspalter sannsynligvis har beveget sig vesentlig vertikalt.

#### *Størkningsdypets innflytelse på plutonenes struktur.*

Det har vært opstillet en rekke typer av eruptivmassiver etter deres form. Tallet av typer har øket eftersom nye felter er blitt beskrevet. CLOOS' metoder har gjort det mulig å bestemme massivenes form bedre enn før, men han finner ikke grunn til å oprettholde de mange spesialnavn. Han kaller alle eruptivmassiver plutoner, og legger hovedvekten på deres struktur og dens forhold til grensene og de omgivende bergarters struktur.

Mange faktorer er med og bestemmer en plutons form og struktur, således magmas størrelse, viskositet og differensiasjon, om det trenger op i en foldesone eller en bruddsone, og ikke minst det dyp det størkner på. Her står det meget arbeide igjen, men man har visse holdepunkter. Etter CLOOS skal her gis en oversikt over den rolle størkningsdypet spiller.

Lavaer og vulkanrør kan ha vakker strømningsstruktur, likeså ganger.

På midlere dyp dannes de typiske plutoner i foldnings- og bruddsoner, hvor samspillet mellom de to tektoniske enheter, det mobile magma og den faste sidesten, skaper et massiv — konkordant eller diskordant — med vel utviklele strukturelementer. Magmas innvirkning på sidestenen er vesentlig mekanisk og termisk.

På litt større dyp er plutonene overveiende konkordante, motsetningen mellom magma og sidesten er mindre, eruptiven får ofte en primær gneisstruktur, og virkningen på sidestenen er vesentlig termisk-kjemisk.

Dypere ned kommer man i migmatittsonen, hvor forskjellen mellom magma og sidesten utviskes under vidtgående omvandling av den siste.

På enda større dyp — CLOOS antar under 20 km — er den sone hvor bergartene aktiveres til magma, og hvorfra materialet til både migmatittdannelser, plutoner og vulkaner stammer. I denne sone må man også tenke sig de store magmastømninger som settes i forbindelse med tektoniske bevegelser.

#### *Primær og sekundær gneisstruktur.*

Det har vært nevnt at eruptiver under størkningen kan anta en ren gneisstruktur. Det er viktig å kunne skille en slik primær gneisstruktur fra en sekundær, dannet ved metamorfose av en tidligere eksisterende bergart. Her skal etter BALK angis nogen kriterier på de to typer av gneisstruktur.



## Primære gneiser.

1. Planstruktur skyldes subparallell ordning av lag av forskjellig sammensetning, eller parallellstilling av bladige mineraler.

2. Strøk og fall av primær planstruktur kan variere over korte avstander.

3. Glimmerrike lag er ikke sjelden foldet.

4. Primær planstruktur bøier sig rundt inneslutninger.

5. Ganger som skjærer strukturretningen er enten massive eller deres struktur går parallell grensene.

6. Linjestruktur og planstruktur finnes ofte sammen. Linjestrukturen kan bli helt dominerende, og planstrukturen har da gjerne varierende retning.

7. En gangs planstruktur er primær hvis den skifter retning med grenseflaten, uavhengig av den omgivende bergarts struktur.

8. Når man nærmer sig en grense, vil primær planstruktur nærme sig mer og mer til å bli parallell grensen.

9. Opknusning finnes som regel bare i grensesoner.

## Sekundære gneiser.

1. Skifrihetsflater kan skjære eldre planstruktur, som skyldes slirer, eller glimmer kan være orientert etter den nye retning og feltspat etter den eldre.

2. Sekundær planstruktur er som regel konstant i retning over store avstander.

3. Sekundær planstruktur er sjelden foldet.

4. Sekundær planstruktur skjærer gjerne gjennom inneslutninger.

5. En sekundær struktur har ingen forbindelse med ganggrensene og vil ofte utviske disse. Store krystaller i pegmatitter kan være knust og igjen sammenkittet langs sekundære plan.

6. Hvis linjestruktur og planstruktur optrer sammen, er bergarten ofte kataklastisk. Linjestrukturen kan være synlig på enkelte plan, men ikke i den mellemliggende bergart. Linjestrukturen markeres gjerne av serisitt og kloritt. Er den meget fremtredende, vil gjerne de plan langs hvilke bergarten har vært beveget, ligge tett.

Linjestrukturen blir neppe noensinde dominerende, og optrer aldri alene. Planstrukturen har konstant retning over større områder.

7. Hvis en gangs planstruktur faller sammen med den omgivende bergarts, og er konstant uten hensyn til forandringer i gangens retning, er den sannsynligvis sekundær.

8. Sekundær planstruktur kan skjære grenseflaten.

9. Opknusning kan finnes over hele feltet.

I det foregående er det forsøkt å gi en oversikt over hvad de nyere strukturundersøkelser i eruptiver går ut på, og en del av deres resultater. Det var å ønske at slike undersøkelser vilde bli foretatt også i Norge. Vårt land byr store muligheter for å kunne gi bidrag til utdypning av denne gren av geologien. En av grunnene til at mange problemer ennå er uløste, er at fjellgrunnen de fleste steder i verden er meget overdekket. I denne henseende byr Norge bedre betingelser enn kanskje noget annet land. Både ved sjøen og i høifjellet finnes strøk som består bare av snaufjell, og hvor alle detaljer i fjellgrunnen kan studeres. Det er grunn til å tro at strukturundersøkelser i norske eruptivfelter vil ha betydning ikke bare for den geologiske utforskning av vårt land, men også for vår forståelse av plutonenes dannelse i sin almindelighet.

*Anders Kvale.*