

10. Über Quarfaltung, Bewegung // B und Erzlagerung mit Beispielen aus Malmberget/Gällivare

Von

Hans J. Koark

Abstract

Cross folding is discussed as $B \perp B'$ fabrics in the meaning of B. SANDER. With regard to its intensity the mass transport can be characterized through $B \perp B' \rightleftharpoons B' \perp B$. The effect of crossfolding and movements // B on the shape of ore bodies is reviewed and some types of Archaean and Caledonian ore deposits in Scandinavia are treated. In a systematic survey the author summarizes ore body shapes, which, directly or indirectly, are due to $B \perp B'$ influence, or may have been reworked by it. Different competency as well as different manner and degree of componential movements (Teilbeweglichkeit) are of greatest importance for the $B \perp B'$ fabrics, as shown by examples from Malmberget/Gällivare in Northern Sweden. The complexity of the deposits (leptites, ore leptites, magnetite-apatite ores, hematite-ores, amphibolites, skarns, granites, etc.) present great differences in the degree of componential movements. Most impressive are the differences between the ores and granites. The granite bodies are formed paratectonically as inhomogeneities, especially during the later phases of the strong movements // B, which disturbed the original position of the ores and ore leptites, resulting in thinnings, tearings, squeezings, dammings, etc. By statistical tectonical analyses the author illustrates the disturbing influence of movements // B and of granite inhomogeneities on the fabrics of B-axes in the leptites and the ores.

Inhaltsverzeichnis

1. Querfaltung als SANDER'sche $B \perp B'$ Gefüge	253
2. Beeinflussung der Erzkörper-Gestalt durch Bewegung // B	254
3. Ergänzungen zur Anwendung des Dioptergoniometers	259
4. Über Beobachtungen am Beispiele Malmberget	260
a) Einleitung	260
b) Über Teilbeweglichkeit der Erz- und Gesteinstypen	261
c) Tektonische Entwicklung zu $B \perp B'$ Gefügen	262
d) Entregelung von Flächen- und Achsengefüge bei Bewegungen // B	274
5. Literaturübersicht	277

I. Querfaltung als Sander'sche $B \triangle B'$ Gefüge

Der Begriff der „Querfaltung“ wird hier im Sinne der SANDER'schen $B \perp B'$ Gefüge gebraucht.

Der auch als „Faltung des Streichens im gleichen Akt“ (SANDER) beschriebene Deformationstyp ist funktional gekennzeichnet durch zwei sich kreuzende Strains. Morphologisch ablesbar an sich annähernd unter rechtem Winkel kreuzenden B und B' (Faltenachsen, Rotationsachsen, usw.), denen bei Vorhandensein von Rotationsachsen Scherflächenbündel in $(h \ 0 \ l) = B$ und $(o \ k \ l) = B'$ zuordenbar sind.

Aus der unzufällig häufigen Orientierung $B \perp B'$ leitete B. SANDER die gesetzmässige zeitliche Überlagerung der Entstehung von $B \perp B'$ ab, das ja auch in der früher schon erwähnten Bezeichnung „Faltung des Streichens im gleichen Akt“ zum Ausdruck gebracht ist. Die B' Entstehung kann dann solcherart gewesen sein, dass die Bewegungen $// B$ auf Widerstand trafen, der sich in B' abbildete (z. B. Faltung zwischen starren Backen). War jedoch $// B$ freie Beweglichkeit vorhanden, so können bei Streckung als Resultate unrückläufiger Deformation Rupturen $\perp B$, seltener $(o \ k \ l)$ -Fugen auftreten.

Die Intensität der Massenverlagerung $//$ und $\perp B$ kann

$$B \cong B'$$

oder anders ausgedrückt

$$B \perp B' \Leftrightarrow B' \perp B$$

sein. Daraus ist ersichtlich, dass aus dem Vorhandensein von B eine Transportweite $\perp B$ nicht unbedingt ableitbar ist, wie dies B. SANDER (1936) mit der Umfassung von B -Achsen durch starrere Bereiche kennzeichnete und $B' \perp B$ Gefüge nannte, deren kräftiges Ausweichen $// B$ durch Hauptdruck $\perp B$ bedingt war. In diesem Zusammenhang kann auf die grundsätzliche Frage verwiesen werden, inwieweit es sich bei $B' \perp B$ nicht um einen oft wiederkehrenden Deformationsstil für Grundgebirgsgebiete mit mehr steilstehenden Achsen (Schlingentektonik) handelt, der durch Relativbewegungen gegen die Tiefe unter Einfluss der Schwerkraft bei Aufrichtung mit Einengung der Schichten charakterisiert ist.

Als Grenzfall können jene Bereiche angesehen werden, in denen die zu B und B' führenden Akte morphologisch ablesbar sich ähneln oder gleichen, was einen korngefügekundlich schon lange typisierten Fall betrifft. Gleichfalls sind $B \perp B'$ und $B' \perp B$ aus Korngefügen und geologischen Profilbereichen bekannt und beschrieben (u. a. B. SANDER bes. 1930, 1936, 1948—50; TH. G. SAHAMA 1936; A. KVALE 1946; H. J. KOARK 1951).

Die Bewegungen // B, die keine B' normal B abbilden und z. B. weit verbreitet als Reissfugen (ac)-Klüfte, (okl)-Fugen, nachgewiesene mechanische Längungen // B, usw. bekannt sind, gehören zum Bewegungsbild der B-Tektonite. Sie sind von $B \perp B'$ Gefügen zu trennen, obwohl beide Bewegung // B gemeinsam haben. Feldgeologisch sind beide Möglichkeiten nicht immer eindeutig zu trennen und für das Korngefüge der Erzminerale fehlt es noch an solch weitgehender Typisierung, wie sie für Silikate schon seit langem vorliegt. Die Bedeutung, die allen Bewegungen // B für Erzkörpergestalt und -lagerung zukommt, ist Grund, über den eigentlichen Begriff der Querfaltung ($B \perp B'$) hinaus, auch jene Erzgestalten zu besprechen, die als B-Tektonite mit erkennbarer Teilbewegung // B zu kennzeichnen sind.

Die Möglichkeit zeitlich sich nicht überlagernder Deformationspläne P_1 und P_2 ist natürlich nicht auszuschliessen. Aussagen über $B \perp B'$ Gefüge oder P_1 und P_2 lassen sich durch entsprechende Konfrontation von feldgeologischen Zusammenhängen, tektonischem — und Korngefüge weitgehend erbringen.

2. Beeinflussung der Erzkörper-Gestalt durch Teilbewegung // B

Bei Massenverlagerung \perp und // B können alle geologischen Körper erfasst und je nach Grad von Festigkeitsverhalten und Teilbeweglichkeit (= Kompetenz) unter gegebenen ptx-Bedingungen verformt werden. Im Nachfolgenden soll nun insbesondere dem Einfluss der Bewegungen // B auf Erzkörper Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die bei solchen Verformungen ausgelösten Deformationen unmittelbarer und mittelbarer Art können für Erzkörper in bezug auf tektonisches Festigkeitsverhalten, Teilbeweglichkeit, Löslichkeit, Rekristallisationsfähigkeit, usw. von grundsätzlich anderem Verhalten als für das umgebende Nebengestein sein. Mit Ausnahmen in grossen Tiefen werden also unmittelbar verformte Erzkörper Inhomogenitäten in einem geologischen Verband darstellen; jedoch sind Erzanreicherungen durch mittelbare Platznahme (Kluftfüllungen, Harnischanreicherungen, usw.) ausschliesslich Inhomogenitäten. So kann unter verschiedenen Bedingungen die den Bewegungen // B zugeordnete unmittelbare mechanische Teilbeweglichkeit einmal im Erzkörper grösser als im Nebengestein sein, oder auch umgekehrt. Im Falle der Gleichheit hätten wir Homogenität der Teilbeweglichkeit für Erz und Nebengestein.

Im skandinavischen Fachschrifttum sind eine nicht geringe Anzahl von Angaben über Erzkörpergestalten vorhanden, deren heutige Konfiguration als unter $B \perp B'$ bzw. B-Tektonit mit Teilbewegung // B Einfluss entstanden gedeutet werden kann. Wohl alle skandinavischen Erzgeologen haben im

Laufe ihrer Praxis mit solchen Vorkommen Bekanntschaft gemacht und sie z. T. beschrieben (u. a. S. GAVELIN, P. GEIJER, E. GRIP, S. HJELMQVIST, P. J. HOLMQUIST, R. LOOSTRÖM, N. H. MAGNUSSON, N. SUNDIUS, TH. VOGT, O. H. ÖDMAN). Es handelt sich um jene Vorkommen, deren // B oblonge Gestalt den typischen Deformationsstil mit steilen Achsen im Grundgebirge repräsentieren, nämlich weniger Transport (im Sinne von Kettengebirgstektonik) als Einengung $\perp B$ mit Ausweichen // B. Die genetische Deutung der Anreicherung von Erzmineralen zu solchen Erzstengeln ist durch das nur schwer zu definierende Verhältnis: Molekularmetamorphose \rightleftharpoons reine mechanische Metamorphose erschwert. Hier könnten besonders Korngefügeuntersuchungen an Erz und Nebengestein tiefere Einblicke in die Bildungsgeschichte ermöglichen, was meines Wissens bisher nicht in ausreichendem Masse geschehen ist. Die Abgrenzung der Relation mittelbare : unmittelbare Teilbewegung wäre möglich, falls nicht spätere Neukristallisation ohne genügende Abbildungskristallisation diese Deutbarkeit verwirkt haben. Im Falle mehr unmittelbarer Teilbewegung (reiner mechanischer Metamorphose) und weniger mittelbarer Teilbewegung (Molekularmetamorphose) lassen sich gestaltlich und z. T. auf Genese bezogen, verschiedene Ausgangszustände nach erfolgter $B \perp B'$ Verformung rekonstruieren (vgl. Übersicht S. 257). Von praktischen Überlegungen geleitet, wird man scheiden müssen in solche Fälle, wo es sich um regelgebundene symmetriekonstante Umformungen handelt, wie z. B. symmetriekonstante Auswalzung von Erzkörpern durch Teilbewegung $\perp B'$ mit nachweislicher Beziehung zur Kristallisation von B; oder schliesslich solche, die durch intensivere Bewegungen // B ($B' \perp B$) und verschiedene Teilbeweglichkeit der betroffenen geologischen Glieder für Erzlagerung grössere Unregelmässigkeiten zur Folge hatten, wie z. B. stellenweise in MalMBERGET.

Die Regelgebundenheit gestreckter Eisenerzvorkommen // B des Nebengesteins war Anlass einer statistischen Untersuchung von B. HÖGBOM (1915) über ihre Tiefenerstreckung in mittelschwedischen Eisenerzgruben. Es erwies sich dabei, dass bei damalig erreichter Abbautiefe (ohne das unerfassbar Wegerodierte) für 453 berechnete Vorkommen im Durchschnitt der Durchmesser der Erzkörper // B um 2,35 mal grösser war, als $\perp B$. Die inzwischen erreichten Tiefen machen das Verhältnis noch eindrucksvoller. Um ein Beispiel zu nennen, das jedoch nicht verallgemeinert werden darf, hat S. HJELMQVIST (1937) einen Erzkörper aus V. Malmsjöbergsgruvan beschrieben, dessen // B Erstreckung ca. 30 mal so gross als jene $\perp B$ war. Diese Erzkörpergestalt hat in allen Gebieten mit Grundgebirgstektonik Verbreitung, was u. a. auch durch die seit langer Zeit in vielen Sprachen dafür bekannten bergmännischen Termini belegt ist; wie z. B. im Deutschen: Einschieben; Erzfall, Erzsäule; im Englischen: chimney of ore, shoot of ore; im Französischen: colonne de minerai; im Schwedischen: malmlinjal, malmstock, malmsvärd; usw.

Neben den aus der Literatur nicht ohne weiteres in bezug auf Bewegung und Symmetrie // B zu typisierenden Erzstengeln // B, sind aus mittelschwedischen Eisenerzgrubengebieten eine Reihe // B oblonger Erzvorkommen beschrieben, die z. T. der $B \perp B'$ Fazies zuordenbar und durch sich kreuzende lineare Gefügeelemente in Erz und Nebengestein, wie Faltenachsen, Scherungsachsen, welliges Einfallen von B, gekennzeichnet sind. In verschiedenen Grössenordnungen auftretend, wurden sie besonders von P. GEIJER [Riddarhytte Malmfält (1923), Stråssa och Blanka järnmalmsfält (1927), Norberg-Klackbergsfält (1936), Stripa Odalfält (1938)], N. H. MAGNUSSON [Persbergs malmtrakt (1925)], N. SUNDIUS [Grythyttefält (1923)] besprochen. Aus diesen Beschreibungen ist zu entnehmen, dass es sich, gefügekundlich definiert, sowohl um $B \perp B'$, als auch $B \wedge B'$ Gefüge [ungleichzeitiger Plan 1 (P_1) und Plan 2 (P_2)] handelt. Die // B gestreckten Erzkörper stehen dabei im ursächlichen Zusammenhang mit oben angeführten anderen $B \perp B'$ Merkmalen. Denn die Bewegungen // B ($\perp B'$), durch Druck- \rightleftharpoons Zugspannungen ausgelöst, wirkten so auf die Erzkörpergestalt, dass es je nach Art des Teilbeweglichkeitsverhältnisses Erz:Nebengestein zu allen möglichen Komplizierungen der oblongen Erzgestalt kommen konnte, wie z. B.: Abreissungen, Aufstauungen, Zusammenschüben usw. Natürlich gilt das gleichfalls für Umformung durch Überprägung von P_1 mit P_2 , also $B \wedge B'$ Gefügen, sowie auch nach P_1 und P_2 deformierten Körpern, deren Beanspruchungspläne \perp aufeinander standen. Es lassen sich jedoch für $B \perp B'$ und $P_1 \perp P_2$ Umformungen unter Berücksichtigung der zwei sich zeitlich überlagernden ($B \perp B'$), bzw. ungleichzeitigen ($P_1 \perp P_2$) senkrecht kreuzenden Strains leichter Voraussagen über die zu erwartende nachdeformative Erzkörpergestalt anstellen, als im Falle sich schief kreuzender ungleichzeitiger Strains ($B \wedge B'$). Voraussetzung für beide Fälle ist eine annäherungsweise Auffassung über die vordeformative Erzkonfiguration. Dem zwangsläufig weitaus häufigeren Vorkommen von $B \perp B'$ (jedem B muss ein $\perp B'$ zuordenbar sein) stehen in weitaus geringerer Zahl Verformungsfälle von $B \wedge B'$ gegenüber. Letztere können jedoch noch kompliziert werden durch evtl. Hinzukommen von $B \wedge B' \wedge B'' \wedge$ usw., wie dies in den Alpen von SANDER (bes. 1942), F. KARL (1952) an Nichterz analysiert wurde, wobei ausserdem für jedes $B \wedge B' \wedge B'' \wedge$ usw. noch ein dazugehöriges $\perp B'$ möglich ist.

Bisher wurden von zahlreichen Autoren die verschiedensten Unregelmässigkeiten an Erzkörpergestalten beschrieben, aber nur in sehr wenigen Fällen ihre mögliche Entstehung durch Quersfaltung im Sinne SANDERScher $B \perp B'$ Gefüge diskutiert. Durch alleiniges Literaturstudium lässt sich zwar vermuten, aber keine feste Auffassung bilden, ob es sich um $B \perp B'$ Umformung handelt, wenn dieselbe nicht vom Autor als solche typisiert wurde. Es ist der Verdienst P. GEIJERS, schon frühzeitig (1923) für mittelschwedische Verhältnisse unter dem Begriff der „Doppelfaltung“ (dubbelveckning) für gewisse Fälle die Gleichzeitigkeit der Bildung sich kreuzender

Gefügeelemente betont, die verschiedene Teilbeweglichkeit für Leptit und Erz (z. B. Stråssa (1927), vgl. u. a. dort Fig. 12) erkannt und beides in Beziehung zur Erzgestalt gesetzt zu haben. Typische Beispiele solcher durch $B \perp B'$ entstandenen Unregelmässigkeiten führt P. GEIJER aus Stråssa vor Augen, so z. B. Fig. 11 aus Kronort und die Querstauchung am Östergruveerz.

Sind es im Grundgebirge vorzugsweise $B \perp B'$ Gefüge, so sind für die Kaledoniden Skandinaviens $B' \perp B$ Gefüge von sehr grosser Verbreitung, wobei bei letzteren die Längung des Erzes $// B'$ (a) also der intensiver betätigten Einengungszone senkrecht zum Streichen der stratigraphischen Verbände zuordenbar ist. Hinweise hierfür sind zu entnehmen TH. VOGTS Sulitelma-Monographie (1927), seinen Notizen über das Nord-Rana Grubenfeld (1944) und schliesslich einer Zusammenfassung über die Kaledoniden (1952). Jedoch sind $// B$ (b) gestreckte Erze in den Kaledoniden nicht ausgeschlossen, bisweilen sind sie sogar im gleichen Grubenfeld mit solchen $// B'$ (a) vergesellschaftet, wie z. B. nach HJ. SJÖGREN (1896) und TH. VOGT (1927, 1952) im Sulitelmafeld.

Das Studium der durch $B \perp B'$ umgeformten oder der unter ihren Einfluss gebildeten Erzkörper hat zum Ziel, den Weg der Entwicklung von Tektonik und Kristallisation zum vorliegenden Gefüge zu rekonstruieren. Am Ende jeder solchen Betrachtung steht die Frage nach dem Gefüge des Ausgangszustandes vor Einsetzen der betrachteten Umformung. Schon bei den weitgehend typisierten Silikatgefügen ist es oft schwer hierauf Antwort zu finden, im weitaus grösseren Masse ist das für Erzgefüge der Fall. Hier besitzen wir nur wenige, doch wertvolle Untersuchungen (J. LEONHARDT, D. SCHACHNER-KORN), die jedoch nicht für eine systematische Typisierung der Erzkorngefüge ausreichen. Es ist somit auch nicht zu sagen, inwieweit eine mit Silikaten vergleichbare Erhaltung im Korngefüge abgebildeter Formungsakte besteht. So lässt sich der Ausbau einer Systematik für Ausgangsgefüge vor $B \perp B'$ Umformung nicht auf Grundlage von bereits Gekennzeichnetem vollziehen, sondern man ist gezwungen, das Gedanklich Mögliche zu erfassen. Dabei läuft man allerdings Gefahr, Typisierungen vorwegzunehmen, deren zuordenbare Beispiele längere Zeit auf sich warten lassen können.

Diese aus vorgenannten Gründen unter Vorbehalt aufzustellende Übersicht kann folgend lauten: Die Umformung kann geschehen

A. durch unmittelbare $B \perp B' \rightleftharpoons B' \perp B$ Gefügebildung

Mittelbare Teilbewegung (Molekularmetamorphose) vorwiegend

{	1. Stoffkontraktion und Kristallisation unter abbildbarem gerichteten Druck $\perp B$ mit Ausweichen $// B$ und B' Bildung. Bevorzugte Beweglichkeit des Erzträgers $// B$ (z. B. Erzstengel durch metasomatische Anreicherung).
---	--

Unmittelbare Teilbewegungen vorherrschend mit \pm mittelbarer Teilbewegung (Molekularmetamorphose)

2. Umformung bereits vorhandener nicht tektonisch vorgeformter gefügeisotroper Erzanreicherungen (z. B. gefügeisotrope Erzseifen, gefügeisotrope Erzschiefer in Magmatiten, usw.).
Gefügeisotrope Erzkörper sind hinsichtlich fehlender moderner Untersuchungen bisher nicht beschrieben. Die Rekonstruktion vorhandengewesener Formisotropie scheint für gewisse Fälle möglich.
3. Umformung bereits vorhandener nicht tektonisch vorgeformter gefügeanisotroper Erzanreicherungen mit Wirtelsymmetrie (Formanisotropie), (z. B. gravitativ entmischte Erzlager, Seifen mit Wirtelsymmetrie, usw.).
4. Umformung gefügeanisotroper bisher tektonisch nicht beeinflusster Erzanreicherungen mit niederer Symmetrie (rhombisch, monoklin; triklin), (z. B. rhythmische oder arrhythmische Anreicherung auf unebener Unterlage).
5. Umformung von magmentektonisch vorgezeichneten inhomogenen Erzanreicherungen (z. B. Chromitschlieren in alpinktonisierten Ophioliten).
6. Umformung bereits vorhandener Erztekonite von B , $B \perp B'$, $B \wedge B'$, s , $s_1 \wedge s_2$ -Charakter.
Aus Erzkorngefügen sind B-Tektonite bekannt. Zuwenig Beispiele für s-Tektonite lassen noch nicht genügend zwischen Plättungs- und Scherungs-s unterscheiden. Die Typisierung der Erztekonite stellt noch ein grosses offenes Arbeitsfeld dar.
7. Umformung schon vorhandener postdeformativ mit Erz gefüllter Fugengefüge.

Bei allen Fällen kann der Einfluss von $B \perp B'$ auf Achsen- bis Korngefüge in Erz und Nebengestein gleichsinnig (homotakt) oder ungleichsinnig (heterotakt) sein.

B. durch mittelbare $B \perp B' \Leftrightarrow B' \perp B$ Gefügebildung

Sie ist angezeigt durch mittelbare Erzfüllung der bei $B \perp B'$ Gefügebildung angelegten Kluft- und Fugensysteme. Z. B. (ac) und (bc)-Reissklüfte, Scherklüfte bzw. -fugen tautozonal dem tektonischen $a = (\text{okl})$ -Fugen oder $b = (\text{hol})$ -Fugen.

Weltweit verbreitet und oft beschrieben sind solche durch Bewegungen \perp und $//$ B entstandenen und postdeformativ mittelbar gefüllten Erzfügen aller möglichen pneumatolytisch-hydrothermalen Paragenesen in Grössenordnung vom Haarriss bis zur Lagerstätte im Profilbereich. Hierher gehören auch die Fugengefüge zuordenbar dem Bewegungsbild der B-Tektonite, die jedoch von denen der $B \perp B'$ zu trennen sind.

Auch zur Kennzeichnung der $//$ B oblongen Erzkörper ist der Hinweis nötig, dass ihre Formung unter B-Tektonit-Bedingungen ohne B' diskutierbar ist, nämlich als

a) durch mechanische Formung \perp B mit mechanischer Längung $//$ B und b) durch Scherung bei zweidimensionaler („ebener“) Formung, also mit Relativbewegung nur \perp B (B. SANDER).

Nur mittelbar abhängig von B-Gefügen sind Erze $//$ B oblonger Gestalt, die durch belteropores Eintreten in den betrachteten Raum dessen Wegsamkeit abbildeten.

3. Ergänzungen zur Anwendung des Dioptergoniometers

Das Einmessen tektonischer Gefügedaten (Streichen und Fallen, B-Achsen, usw.) ist in Gebieten stärkerer magnetischer Einwirkung mit Kompass unmöglich gemacht. Das vom Verfasser schon früher kurz beschriebene (1951) Dioptergoniometer wurde insbesondere für Arbeit an und in magnetischen Erzlagerstätten konstruiert. Nach längerem Gebrauch desselben können einige Ergänzungen betreffend Konstruktion und Anwendung gegeben werden.

Es zeigte sich, dass die Halteschraube (Nr. 3 in Fig. 1 und 2 bei KOARK 1951 b) zwischen Lineal und Goniometer einen möglichst kleinen Kopf haben soll, um bei Einmessung nach rückwärts einfallender Flächen (Unterseiten) nicht hinderlich zu sein. An der Anlegekante des Goniometers wirkt sich ein ca. 10 mm vorspringender Streifen vorteilhaft aus, der zum Zwecke besseren Haftens auf der zu messenden Fläche mit geripptem Gummi belegt ist (vgl. Fig. 1 + 2). Bei allzuflachem Einfallen von Unterseiten wird es notwendig sein, die Messung durch Umkehrung des Dioptergoniometers (nach unten gerichtete Fluchtstäbe) auszuführen. In diesem Falle ist lediglich das umgekehrte Seitenverhältnis bei Berechnung der Winkelwerte in Betracht zu ziehen.

Weiters hat sich ergeben, dass bei Arbeit unter Tage die langen Fluchtstäbe (KOARK 1951 b, S. 172) von 40 und 50 cm nicht notwendig und ausserdem unbequem sind. Selbst bei Übertage-Arbeit hat sich bis zu 300 m Entfernung zwischen D. G. und Theodolit das kurze Fluchtstabpaar (15 und 25 cm lang) als ausreichend erwiesen. Damit ist der Gebrauch langer Fluchtstäbe stark eingeschränkt und ihre Notwendigkeit nur für besondere Bedingungen gegeben (grössere Entfernungen oder sehr steile Höhenunterschiede).

Die D. G.-Messungen in MalMBERGET/Gällivare wurden nicht mit Hilfe eines Theodoliten, sondern mit dem Markscheiderinstrument (Messtisch mit Kippregel) ausgeführt. Obwohl hier die Genauigkeit nicht so gross wie mit Theodolit, bleibt jedoch der Fehlerwinkel unter $\pm 1^\circ$, was bei weitem verlässlicher als Kompassmessung in nichtmagnetischem Gebiet ist. Ökonomisch gesehen, ist für Untertagearbeit das robustere Markscheiderinstrument dem empfindlicheren und kostspieligeren Theodolit vorzuziehen, wenn auch dadurch ein geringes Mehr an Arbeit notwendig wird. Die zusätzliche Arbeitsleistung besteht darin, dass nicht, wie mit Theodolit schon im Feld der Winkel zwischen Ort der Gefügemessung und geogr. Nord bestimmt wird, sondern dass die Winkelmessung zwischen in Feld und Karte übereinstimmend markiertem Festpunkt und dem Ort der Gefügemessung noch in den Winkel geogr. Nord \wedge Gefügemessung umzurechnen ist. Dies ge-

schieht zweckmässigerweise im Quartier, Grubenkontor, usw. Alle anderen Arbeiten bleiben sich unverändert gleich. Theodolit- bzw. Markscheidergerät-Bedienung fällt in den Aufgabenbereich einer geodätisch vorgebildeten Hilfskraft.

Bei Vorhandensein grossmasstäbiger Karten (Grubenpläne, usw.) wird eine annähernd genaue Fixierung des Ortes der Gefügemessung auf der Karte auch ohne vorherige Entfernungsmessung zwischen Vermessungsinstrument und D. G. im Felde möglich sein. Es kann damit der sonst mit Messlatte (Nivellier-Latte) durchzuführende Arbeitsgang eingespart werden.

Die Verwendbarkeit eines Kreiselkompasses für diese Zwecke ist meines Wissens bisher nicht geprüft. Theoretisch sicher möglich, jedoch dürften in der Praxis durch hohes Gewicht und evtl. Grösse Unbequemlichkeiten, wenn nicht gar Schwierigkeiten in der Handhabung entstehen — ganz abgesehen vom für Einzelne kaum tragbaren hohen Anschaffungspreis. — Für Übertagearbeit in wetterbegünstigten Gebieten liesse sich für geologische Arbeit wahrscheinlich auch ein geeignet konstruierter Sonnenkompass anwenden.

4. Über Beobachtungen am Beispiele Malmberget/ Gällivare

a) Einleitung

Sowohl in älteren Übersichtsbeschreibungen von A. SJÖGREN (1891), HJ. SJÖGREN (1906), O. STUTZER (1906, 1907), A. G. HÖGBOM (1910) als auch in der umfassenden Monographie von P. GEIJER (1930) wird die kräftige tektonische Beeinflussung der Magnetit-Apatit-Lagerstätte in Malmberget/Gällivare betont. Spezielle tektonische Untersuchungen existierten bisher nicht. Im Vorliegenden wird ein vorläufiger Bericht über gefügekundlich-tektonische Untersuchungen erstattet, die im Sommer 1951 im Gebiet der Lagerstätte durchgeführt wurden und Beispiele zum behandelten Problem der $B \perp B'$ Gefüge erbrachten. Es handelt sich dabei um Vorlage von Beobachtungen aus Handstück- bis Profilbereich. Die korngefügekundlichen Ergebnisse sollen einer ausführlichen Darstellung in Konfrontation mit Vorliegendem zu einem späteren Zeitpunkt vorbehalten bleiben.

Dem Verfasser wurde von der Grubenleitung die Aufgabe gestellt, vorerst in einleitender Untersuchung zu prüfen, ob in Grubenfeldbereichen mit magnetischem Erz gefügekundliche Arbeitsmethodik nach B. SANDER möglich ist. Wenn ja, ob ein Nachweis evtl. verschiedener tektonischer Phasen und ihres Einflusses auf die Lagerung der Erze erbracht werden kann.

Nachdem sich mit Zuhilfenahme des Dioptergoniometers statistische tektonische Untersuchungen in magnetischem Feld als ohne weiteres möglich

erwiesen, wurden für die eigentliche Untersuchung dem Bergmann besonders tektonisch kompliziert scheinende Stellen ausgesucht. Hier schien das Finden von Relikttektonik am ehesten erfolgversprechend. Untersucht wurden so Teilbereiche aus folgenden Gruben des Erzfeldes: Nya Skåne (200 und 250 m Niveau), Upland (200 und 250 m Niveau), Västra und Östra Dennewitz Tagebaue, Tingvallskulle (grosse Falte im Tagebau).

Geologie und Petrographie des Grubenfeldes sind in der ausführlichen Monographie und auf grossmasstäblicher Karte (1:8000) von P. GEIJER (1930) dargestellt, deren Kenntnis sich für das Verständnis des Nachfolgenden nützlich erweisen würde. Vom Verfasser bereits ausgeführte und noch fortzusetzende petrographisch-gefügekundliche Studien, die insbesondere dem Verhältnis von Kristallisation zur Tektonik an verschiedenen Gesteins- und Erztypen und deren Teilgefügen gelten, sowie der Typisierung der Korngefüge, werden wie schon erwähnt später mitgeteilt.

b) Über Teilbeweglichkeit der Gesteins- und Erztypen

Für das Verhalten der verschiedenen Gesteins- und Erztypen bei Umformung unter annähernd gleichen Bedingungen ist Art und Grad von tektonischer Festigkeit und Teilbeweglichkeit (= Kompetenz) ausschlaggebend. Unter konstanten funktionalem Gefüge (Stress-Anordnung, ptx-Bedingungen, usw.) ist das tektonische Festigkeitsverhalten abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung und dem morphologischen Gefüge (insbesondere Art und Grad der Anisotropien).

Erze und Gesteine des Grubenfeldes sind charakterisiert durch starke Verschiedenheiten in ihrer mineralogischen Zusammensetzung (Leptite, Erzleptite, Erze, Amphibolite, Granite, Skarne usw.), als auch in ihrer Anisotropie. Isotrope Granitkörper wechseln mit schichtigen Leptiten, Erzleptiten, Erzen, deren Anisotropie durch rhythmische und arhythmische Stoffverteilung normal s unterstrichen wird. Damit kann auch der Teilbeweglichkeitsgrad einmal durch vorgezeichnetes Gefüge (z. B. ophitisches Starrgefüge = weniger teilbeweglich, oder aber Parallelanordnung heterometrischer Gemengteile, wie Glimmer, Hornblenden = höher teilbeweglich) und zum anderen durch unter bestimmten ptx-Bedingungen möglicher Mobilisation (Lösungsvermögen, Rekristallisationsfähigkeit, Stoffaustausch) (= höher teilbeweglich) — oder nicht (weniger teilbeweglich) — mechanische Inhomogenität erzeugen.

So war bei der Feldarbeit konstatierbar, dass besonders glimmerreiche graue Leptite mit ausgeprägtem s gute Teilbeweglichkeit abbilden (z. B. grosse Falte im Tagebau Tingvallskulle), die an anderen Orten sogar phyllitische Endprodukte als Ergebnis hatte (z. B. an der Westseite des Tagebruchs Östra Dennewitz). Bei den mehr monomineralischen Erzkörpern weisen die Hämatiterze auf stärkere Durchbewegung als die Magnetiterze.

Mit zunehmendem Apatitgehalt scheint sich auch der Grad der Teilbeweglichkeit gesteigert zu haben. Dies ist in verstärktem Masse an Erzleptiten abzulesen, bei denen ausser reichlich Magnetit und Apatit noch Glimmer, Hornblende und Kalifeldspat hinzutreten kann.

Zusammenfassend lässt sich für die wichtigsten geologischen Glieder des Grubenfeldes folgendes Schema über den Grad ihrer Teilbeweglichkeit aufstellen:

Zunehmender Teilbeweglichkeits- grad	Pegmatitgranite
	Granite (abbildungskristallin nach rotem Leptitgneis)
	Rote Leptite (-gneise)
	Glimmerarme graue Leptite
	Magnetiterze
	Hämatiterze
	Glimmerreiche graue Leptite (phyllitisch)
	↓ Polymineralische Erzleptite

Diese Einordnung ist nicht absolut, sondern nur relativ, insofern, als für das gesamte betrachtete Gebiet die Homogenität in bezug auf Anordnung und Intensität funktionaler als auch morphologischer Gefügedaten unkontrollierbar ist.

Bereits ein makroskopischer Vergleich mit dem Kiruna-Erz zeigt, das das Gällivare-Erz eine niedrigere Packungsdichte besitzt. In welchem Verhältnis die Packungsdichte zu der schon von O. STUTZER (1906) gemachten Beobachtung „des in der Hand zerreiblichen Erzes“ steht, und ob letzteres vielleicht auf schwächere Kornbindung (veranlasst durch nachkristalline Deformation?) zurückzuführen ist, bleibt vorläufig unentscheidbar. Es drängt sich die Frage auf, ob der hohe Grad von Porosität nun Ursache zu — oder Resultat von starker Teilbeweglichkeit war? Mehr gefühlsmässig als objektiv beantwortet, ist als Möglichkeit eine Auflockerung als Resultat der $B \perp B'$ Bewegungen ins Auge fassen, die als solche von B. SANDER als „Sperrausdehnung“ bekannt gemacht wurde. Diese Ansicht gilt nur mit Vorbehalt, denn lediglich neue Fakta und nur eine über Hypothesen hinausgehende Auffassung über die genetische Entwicklung der Lagerstätte könnten auf obige Frage eindeutige Antwort geben.

c) Tektonische Entwicklung und Bewegung // B

Bevor auf die $B \perp B'$ Faltung, bzw. Bewegungen // B bezogene Details behandelt werden, soll eine Zusammenfassung der für das Erzfeld bisher erkannten tektonischen Phasen erfolgen.

In keinem Falle konnte mit Sicherheit eine ältere tektonische Geschichte als die Achsenprägung wahrgenommen werden. Vorausgesetzt, dass man den Lagenbau des Verbandes nicht voreingenommener Weise als Ergebnis tektonischer Einwirkung vor der Achsenprägung ansieht. Bei

dieser Gelegenheit sei der Einwurf gestattet, dass Vorhandensein von *s* in höherkristallinen Gesteinen nicht prinzipiell auf Teilbewegung zurückzuführen ist. So sind die oft in der Literatur als „gepresst“ oder „geschiefert“ beschriebenen Gesteine in den wenigsten Fällen als solche geprüft und korngefügekundlich eindeutig definiert. Das Gleiche gilt auch für den sehr oft unrechtmässig gebrauchten Begriff „kristallisationsschiefrig“, der zwar meist deskriptiv gemeint, doch aber genetisch im Sinne ursprünglicher Bedeutung nach BECKE-RIECKES Prinzip vom Leser aufgefasst werden kann. Die nicht selten angetroffene Meinung, dass im Präkambrium neben polymetamorphen auch polytektonische Gesteine die Regel sind, wird durch die z. T. sehr schön erhaltenen sedimentären Gefügerelikte (Kreuzschichtungen, Warwen, usw.) in Gneisen, Glimmerschiefern, usw. widerlegt. Sie schliessen gefügeändernde mechanische Teilbewegungen aus. Hier kommt das Prinzip der Abbildungskristallisation am schönsten zu Geltung. Bei Betrachtung des in Malmberget/Gällivare komplex stoffverschiedenen Lagenbaues mit Rhythmit- und Arrhythmitcharakter ist man geneigt, schon korngefügekundlich ungeprüft, der Abbildungskristallisation eine gewisse Rolle einzuräumen. Hierzu führt besonders die Überlegung, dass der für die *s*-Flächenbildung notwendige Beanspruchungsplan über Bereiche solcher Grössenordnung (Zehner km) zwar theoretisch möglich, nicht aber eine stoffliche Differenzierung durch tektonische Entmischung zu vorliegendem stoffverschiedenen Lagenbau denkbar ist. Es sollte damit weder Polemik gegen vorgefasste Meinungen über die Genesis der Lagerstätte, noch eine vom Verfasser propagierte Hypothese vorgetragen werden. Vorstehende Äusserungen verfolgten lediglich den Zweck, den in bezug auf Tektonik und Kristallisation angewandten Termini mit mehr Kritik zu begegnen.

Wie schon erwähnt, ist die Achsenprägung die älteste erkennbare tektonische Phase. Die Haupteinengung des Gesamtbereiches erfolgte \perp zur jetzt 30 bis 50° gegen SW—SSW einfallenden Achse. Die heute teilweise zu findenden flacheren und steileren Einfallwinkel von *B* sind wahrscheinlich durch Querrfaltung hervorgerufene Sekundärererscheinungen. Aber auch im Streichen der *B* kann es zu kräftiger Streuung kommen, deren Ausmass, nur statistisch behandelt, erkannt werden kann. Auch hierfür zeichnen massgeblich Bewegungen // *B* — wie später an Beispielen belegt. Die Achsenprägung war von starker Kristallisation begleitet, die in Wechselwirkung mit den mechanischen Umformungen die linear ausgeprägten Gefüge der heute vorliegenden Gesteine schuf, deren stoffkoncordantes *B* ausgesprochene Stengelbildungen aufweisen kann.

In den Bildern 1—4 des Blockdiagramms (Fig. 3) soll schematisch der vom Verfasser vermutete tektonische Werdegang der Lagerstätte Malmberget für einen Teilbereich von ca. 70 × 100 m Oberfläche rekonstruiert werden.

Bild 1 stellt den angenommenen Ausgangszustand eines lagigen Verbandes von Erz (schwarz) und Leptit (gebrochen liniert) dar, bevor jegliche Fal-

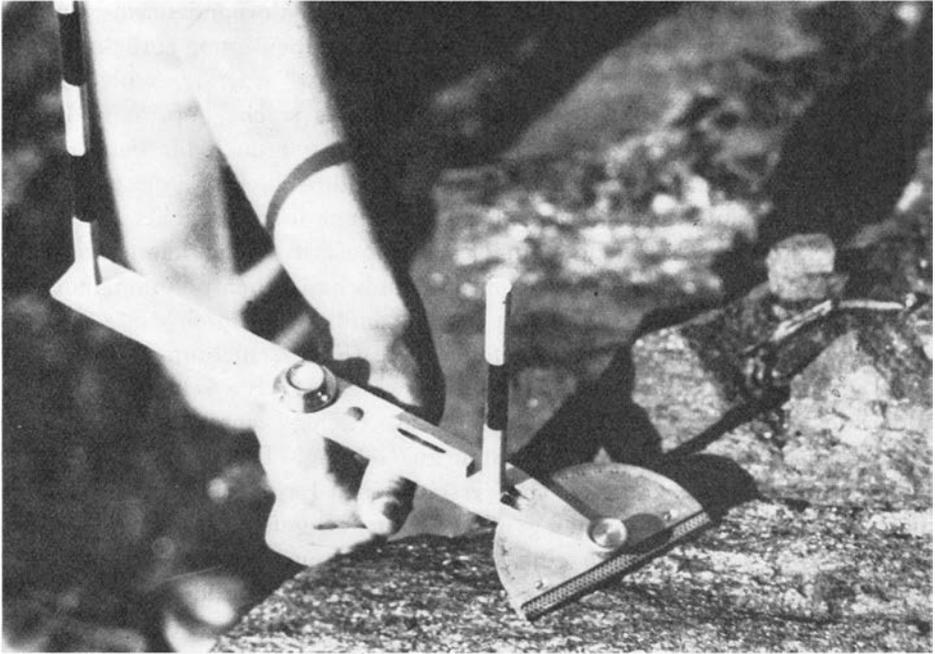


Foto: H. J. Koark.

Fig. 1. Dioptergoniometer: Streichen-Messung. Durch Einspielen der Dosenlibelle liegt Anlegekante im Streichen der Fläche. Diopterstäbe werden durch Schwenken um die Goniometer-Achse in Deckung mit Fadenkreuz im Theodolit oder Visierlinie am Markscheiderinstrument gebracht (Näheres siehe Text und KOARK 1951).

tung einsetzte. Für seine Lage im Raum stehen folgende 3 Möglichkeiten zur Diskussion:

- 1) Der Verband lag horizontal und wurde in dieser Situation gefaltet. Erst später wurde er gekippt und steil gestellt.
- 2) Der Verband war vor Einsetzen der Faltung bereits steil aufgerichtet und wurde aus dieser Lage senkrecht zum Streichen eingengt.
- 3) Aus horizontaler Lagerung wurden mit beginnender Faltung die Schichten seitlich gekippt und in Fortsetzung mit der Einengung steil aufgerichtet.

Für MalMBERGET wird die unter 3. beschriebene Möglichkeit als wahrscheinlich angenommen. Zwecks leichteren Verständnisses werden die Gründe hierfür an späterer Stelle vorgelegt.

Bild 2 zeigt Beginn und Art tangentialer Einspannung und Einengung mit beginnender Kippung senkrecht zum Streichen. Anfang der Abbildung von Deformation und Kristallisation im Korngefüge.

Bild 3 führt den Weitergang von Faltung und Kippung vor Augen, sowie die Granitbildung (+ +) im Anfangsstadium mit mehr abbildungskristallinem Charakter nach Leptit.

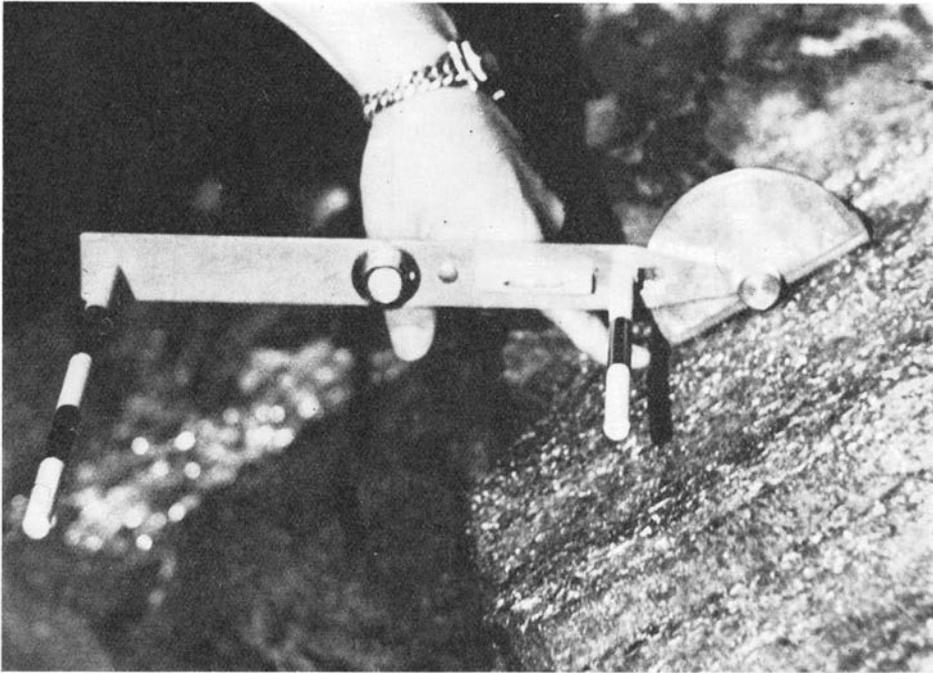
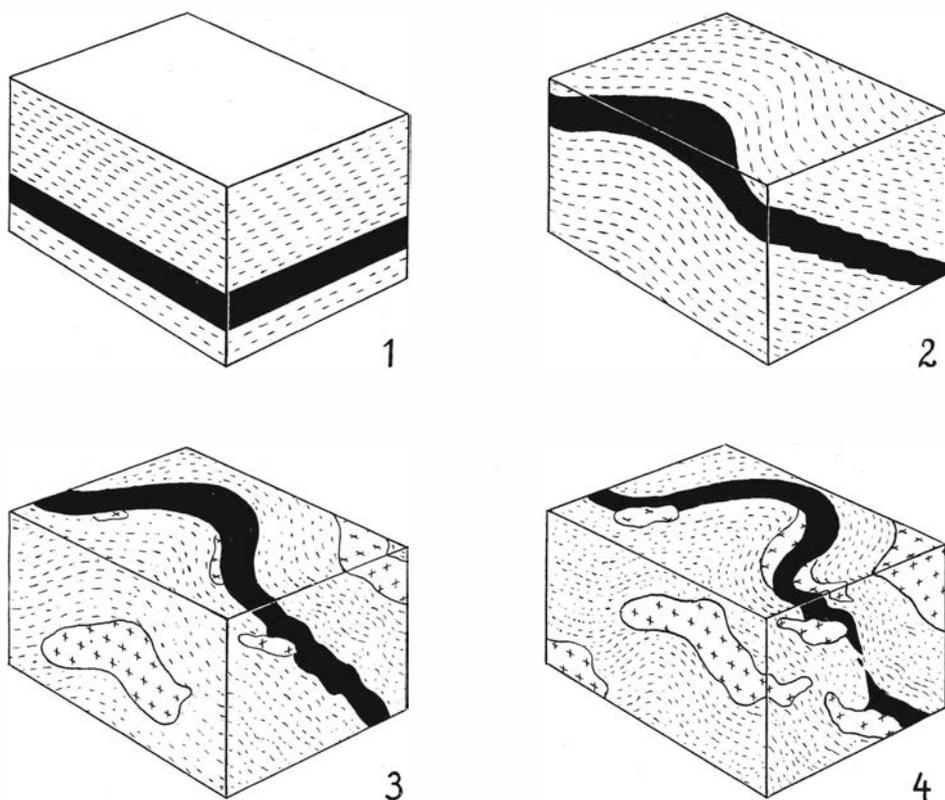


Foto: H. J. Koark

Fig. 2. Dioptergoniometer: Fallen-Messung. Anlegkante des Goniometers liegt senkrecht zum Streichen. Nach Horizontieren des Lineals mittels Röhrenlibelle um die Goniometerachse — Ablesung des Einfallwinkels auf der Skala.

Bild 4 ist als Schlusstadium inbezug auf Faltung und Kippung als auch des in dieser Schlussphase mehr quergreifenden Granitauftritts gedacht. Sowohl in Bild 3 und 4 wurde durch fortdauernde Überlagerung von Deformation und Kristallisation das stoffkonkordante Achsengefüge weiterausgeprägt.

Nun zeigen die Blockbilder 2, 3 und 4 mit zunehmender Masse ihrer tangentialen Einengung und Kippung Unregelmässigkeiten der Lagerung, wie Stauchungen (2), Aufbiegungen (3), Zerreibungen (4) \perp zur Faltenachse. Sie entstanden durch // B verlaufende Bewegungen und waren mit Materialverlegung verbunden. Das Lot auf die bilaterale Symmetrieebene dieser Transportwege ist B'. Es sind somit im Profilbereich erkennbare $B \perp B'$ -Gefüge. Alle Feldbeobachtungen weisen nun darauf hin, dass der Massentransport // B vorwiegend gegen die Tiefe weist. Das ist einmal ablesbar an der Morphologie der Stauchfaltung (B') und an Art und Weise der Aufstauung von hochteilbeweglichem auf weniger teilbeweglichem Material (vgl. Blockbild 4). Aber auch die Annahme der mit der Faltung gleichgehenden Kippung erklärt so abgleitende Relativbewegungen gegen die Tiefe bei notwendig vorhandenem Raum durch die Schwerkraft von selbst.



H. J. KOARK 1951

Fig. 3. Schema für die tektonische Entwicklung der Lagerstätte Malmberget an einem Teilbereich von ca. $100 \times 70 \times 60$ m.

Die Morphologie der B'-Gefüge ist abhängig von der Intensität der Beanspruchungen, dem Festigkeitsverhalten und der Teilbeweglichkeit des betroffenen Materials und der Art seiner Einspannung mit Ausweichmöglichkeit nach der Tiefe.

So zeigen Bereiche ausserhalb grosser oder kleinerer Faltung (B = Hauptfaltung) allgemein ein Steilerstehen des Verbandes mit Quersfaltung von grosser Amplitude. Es scheint sich um Aufwölbungen durch Stauchung auf wenig nachgiebiger Unterlage zu handeln. Ihre scheinbare Unregelmässigkeit, wie in Fig. 4 aus der Nordwand des Linné-Tagebaues erkennbar, ist auf verschiedene Teilbeweglichkeit des dort vorkommenden Erzleptits und der von ihm eingeschlossenen Granitlinsen zurückzuführen.

Sobald jedoch flacheres Einfallen der Schichten zu beobachten ist, sind B' vorher beschriebener Art nicht zu finden. Hier sind es kleinamplitudinale



Foto: H. J. Koark.

Fig. 4. Grossamplitudinale Querfaltung (B') in Linné-Grube, Erzfeld Malmberget/Gällivare. Stoffkoncordantes B in Erzleptiten verläuft im Bild von rechts oben nach links unten, Querfaltungs-B' als Achse der grossen Wölbungen von links oben nach rechts unten.

Stauchfalten, die im allgemeinen den Eindruck hoher Teilbeweglichkeit hinterlassen.

Vorgenannte Beobachtungen sind vielleicht in der Richtung zu deuten, dass bei flacherem Einfallwinkel (zwischen 20 und 50°) ein freieres Abgleiten (hochteilbeweglich) nach seitlicher Tiefe stattfinden konnte. Hingegen war

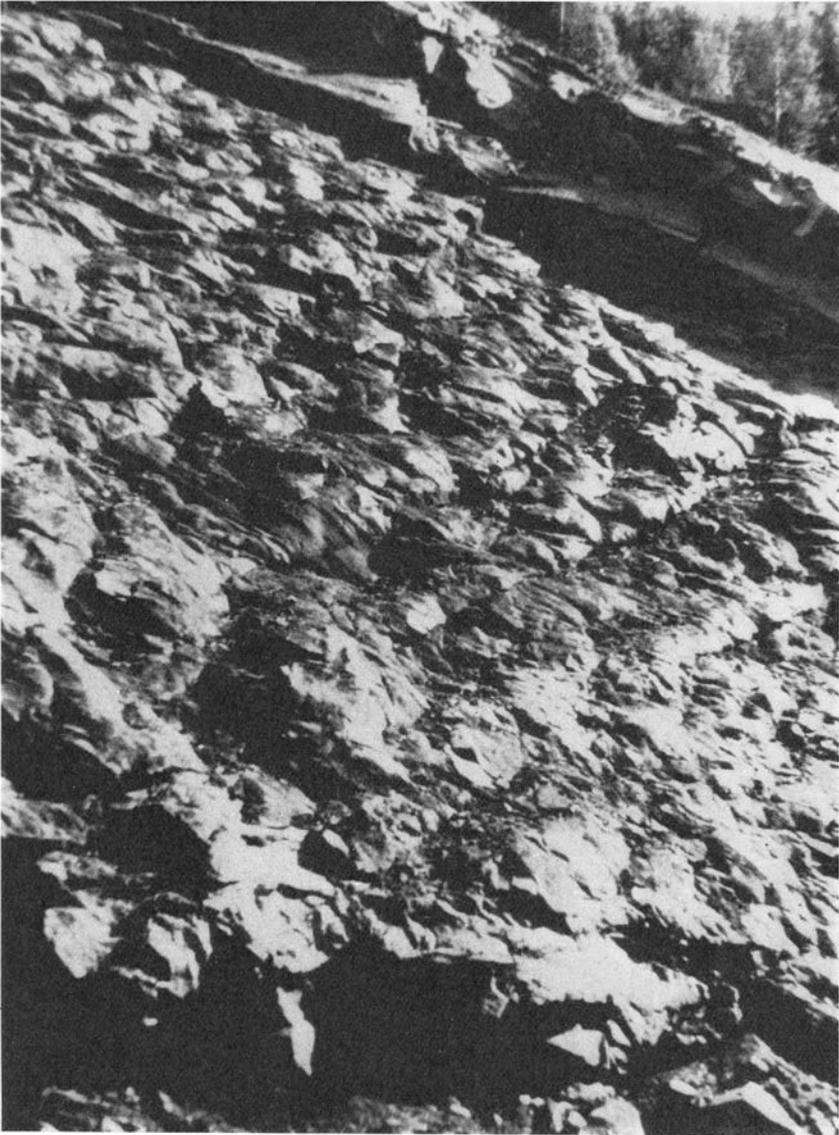


Foto: H. J. Koark.

Fig. 5. Abgleiten des abgebauten Hangenden // der als B vorgezeichneten Geleise (links oben nach rechts unten). Ableitbarer Relativsinn: Hangendes gegen Süd (nach rechts), Liegendes gegen Nord (nach links). Tagebau der Grube Östra Dennewitz, Erzfeld Malmberget/Gällivare.

bei steiler gestellten Partien der Winkel zwischen Kippung des Verbandes und Unterbau für Abgleiten ungünstig und es erfolgte hier ein grossamplitudinales Zusammenstauchen. Im westlichen Teil des Tagebaus Tingvalls- kulle sind kleinamplitudinale B' von solchen grossamplitudinalen B' überlagert,



Foto: H. J. Koark.

Fig. 6. Bei Aufbiegung von B durch unetetige Streckung entstandenes asymmetrisches Fugengefüge. Im Hintergrund von Aufbiegung und Streckung unbeeinflusstes Gestein. Grube Södra Alliansen, Erzfeld MalMBERGET/Gällivare.

was im obengenannten Sinne zu erklären wäre, nämlich dass nach hochteilbeweglichem Abgleiten mit kleinamplitudinaler B'-Prägung die Kippung des Verbandes fortgesetzt wurde, und nach Überschreiten des für Abgleiten günstigen Winkelwertes Stauung zu grossamplitudinalen B'-Aufbiegungen einsetzte. Dies ist u. a. ein Hinweis für die bereits bekundete Auffassung gleichzeitig faltender und kippender Tektonik. Als weiteres Argument hierfür kann das Verhältnis von meist flacher und gleichsinnig gegen ungefähr S einfallender Faltenachsen (B = Hauptfaltung) zu ihren steiler stehenden Falten-schenkeln angesehen werden. Die über weite Strecken streichenden Falten-schenkel wurden steiler aufgerichtet, als die bei fortfahrender Aufrichtung und Einengung sich immer mehr ausprägenden Faltenkniee, die zwangsläufig aus Räumangel in solchen Abbiegungsstellen in ihrem Fallwinkel zurückbleiben mussten.

Die beschriebenen B'-Typen und ihre gegenseitige Überlagerung war nicht über das gesamte Grubenfeld verteilt zu beobachten. Man trifft sie hie und dort, ist zu Interpolation und Summation gezwungen. So ist es nicht nur die stoffliche Inhomogenität des betroffenen Materials, sondern

auch verschieden beanspruchte Bereiche in stofflich homogenem Raum. Dabei steht das eine vom anderen in irgendeiner Abhängigkeit, die nicht immer zu analysieren ist.

Als ein Beispiel hierfür Fig. 6 aus Tagebau Södra Alliansen. Der Hintergrund des Fotos zeigt einen Bereich ohne freisichtiges B' (steilstehende B-Tektonite), der Vordergrund hingegen, einen Bereich mit zwar gleichlaufenden B, jedoch starker unetiger Streckung // B und daraus resultierenden Fugen asymmetrisch zu B. Es scheint kein $B \perp B'$ Gefüge zu sein, als vielmehr eine mit der B-Prägung nicht gemeinsame spätere Dehnung // B. Ihr Aufkommen ist durch einen darunterliegend vermuteten Granitkörper (vgl. Aufwölbung sowohl // als auch \perp B) denkbar, wobei verschiedene Teilbeweglichkeit Granit : Erzleptit im höherteilbeweglich Hangenden das eigentümliche Fugengefüge abbildete.

Wenn damit ein besonders gearteter Einzelfall späterer Formung // B vorgeführt wurde, so ist doch unetige Formung // B, überlagert durch mehr stetige Formung \perp B an anderen Vorkommen erkannt. Ob P. J. HOLMQUISTS (1924) für gewisse oblonge Erzkörper in mittelschwedischen Gruben angenommenen rupturrellen Streckungsbewegungen // B als Reissklüfte (ac) zum B-Tektonitcharakter, als Reissfugen restierender Spannungen, oder als Akte zeitlich abzutrennender neuer Beanspruchung zu betrachten sind, geht aus seinem Aufsatz nicht hervor.

Ein anderes Beispiel von Bewegung // B, das zwar deskriptiv B' zeigt, deren Entstehung jedoch dem Verfasser (korngefügekundlich ungeprüft) nicht auf mit B gleichzeitigen Formungsakt deutbar scheint, wird in Fig. 5 vom Tagebau Östra Dennewitz gezeigt. Es handelt sich hier anscheinend um ein Abgleiten // B, welches durch die Anisotropie des bereits vorhandenen B-Gefüges in seiner Richtung diktiert sein konnte. In diesem Falle wäre B als Geleise für Gleitung // B weniger blockiert, als bei Gleitung \wedge B Geleisen. Die höckerigen B' sind stetig abgebogene Kanten unetiger rupturreller (ac)-Fugen (bezogen auf B). Der aus ihnen ableitbare Relativsinn der Bewegung // B ist: Hangendes gegen S (nach rechts im Bild), Liegendes gegen Nord (nach links im Bild).

Bei Betrachtungen über die Gesetzmässigkeit der Erzlagerung muss zwangsläufig die Frage nach der Ausgangsgestalt des Erzes vor Einsetzen der heute zu erkennenden Resultate mechanischer und molekularer Umformungsakte in den Vordergrund gerückt werden. Die drei grundsätzlichen Möglichkeiten sind:

- 1) War Malmberget vor seiner Umformung eine grosse Erzscheibe analog Kiruna?
- 2) War es ein stratigraphischer Verband mit Erzlagern in verschiedenen Niveaus?
- 3) War eine präexistierende tektonisierte Lagerstätte vorhanden, die durch die heute erkennbare Tektonik und Kristallisation lediglich umgeformt wurde?

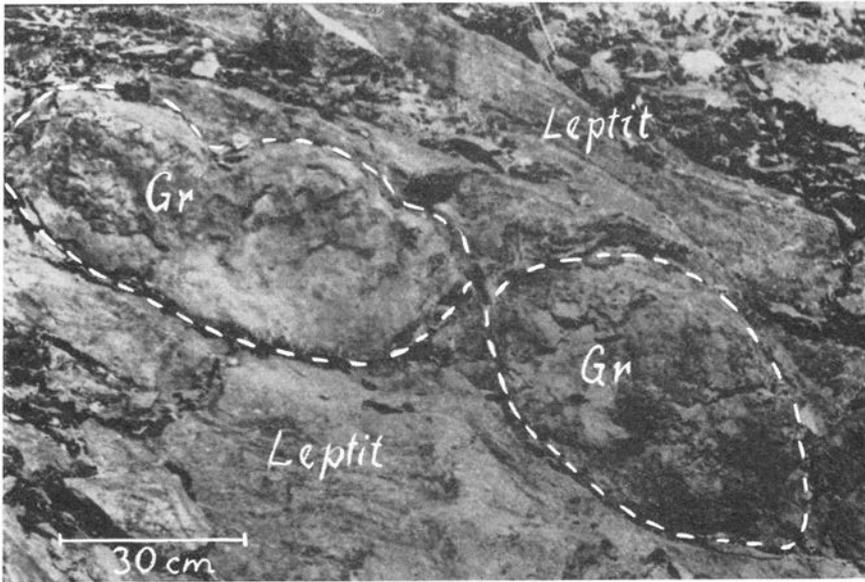


Foto: H. J. Koark.

Fig. 7. Querschnitte spättektonischer Granitstengel // B' (Querfaltungsbachse) im Erzleucit der Grube Västra Dannewitz, Erzfeld MalMBERGET/Gällivare.

Indirekt wurde zur Frage 1) bereits auf S. 263 Stellung genommen, mit dem Ergebnis, dass diese Möglichkeit ausgeschlossen werden kann. Hingegen sprechen alle Anzeichen feldgeologischer, gefügekundlicher und petrographischer Art für den 2. Fall. Vielleicht mit der Einschränkung, dass zwar keinerlei Anzeichen für die 3. Möglichkeit beobachtet wurden, aber doch ältere Tektonik nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden kann, da immerhin eine Tarnung relikter Phasen durch die spätere kräftige Kristallisation und Prägung nicht unmöglich ist. Aber auch bei Fall 2) ist keinerlei Gesetzmässigkeit in der Gestalt der Erzkörper vorauszusetzen. Denn in stratigraphische Verbände konkordant eingeordnete Erzlager können sowohl in horizontaler, als auch vertikaler Gliederung gestaltlich Unregelmässigkeiten einschliessen, ohne dass dabei faltende Tektonik mitwirkte. Trotzdem kann man wohl annehmen, dass auch vortektonisch — bezogen auf die bisher erkannten Phasen — das Erz seine Hauptausdehnung im Streichen hatte. Nun fanden — wie schon erwähnt — während der tangentialen Einengung und Kippung Massenverlagerungen sowohl \perp als auch // B für Erz und Nebengestein statt, wobei Höheranteilbewegliches entsprechende Maximalbeträge gegenüber Wenigerteilbeweglichem aufzuweisen hatte. Hierbei handelte es sich um keinen freien Transport, sondern mehr um Einschnürung mit Hauptdrücken \perp B, wobei zwangsläufig die Massenverlagerung // B dominierte. Das Ergebnis dieser Umformung waren somit die schon auf S. 255 zitierten Erzkörper gelängt // B. Die das Erz längenden Teilbewegungen waren für das Erz intensiver als für

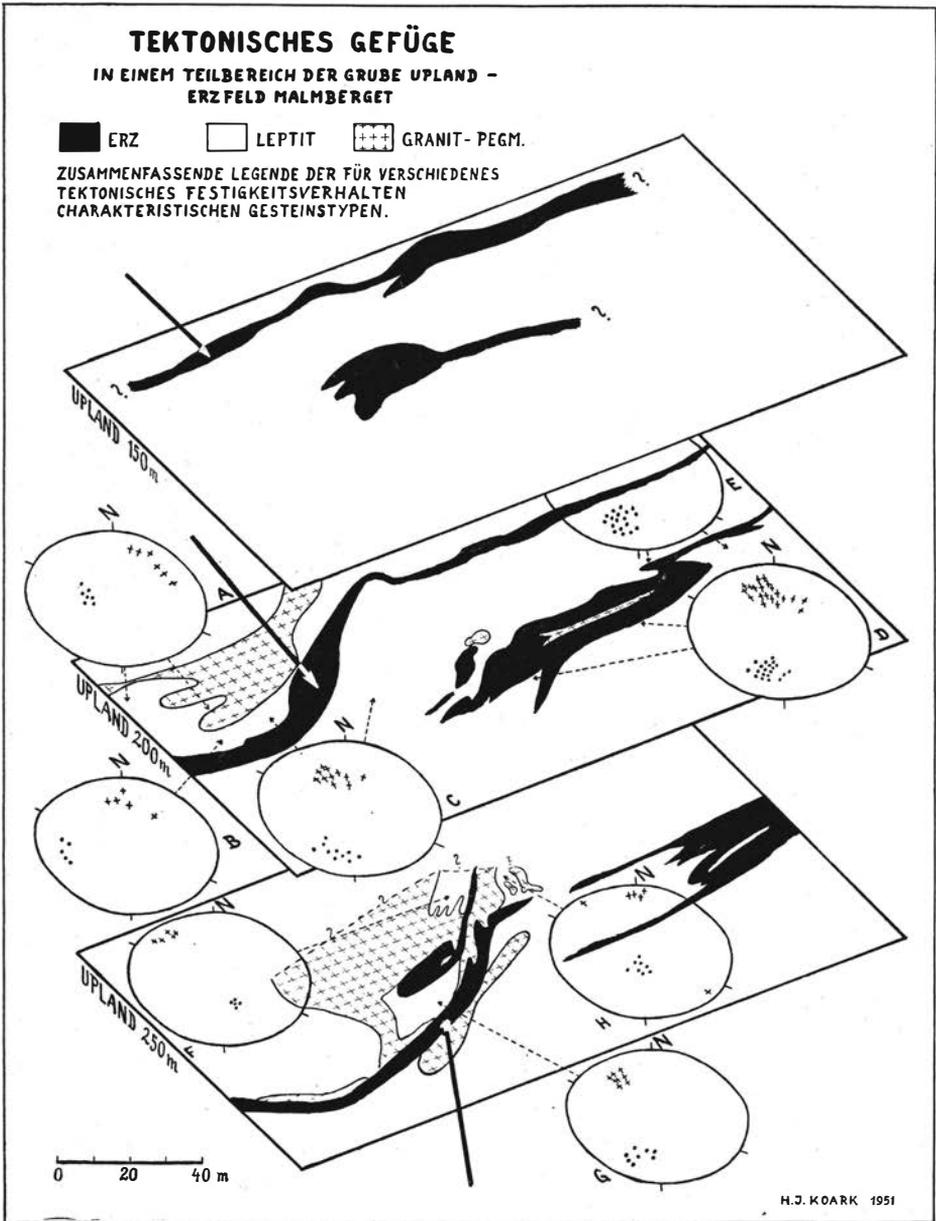


Fig. 8.

die sich in seiner Nähe gebildet oder noch bildenden Granitkörper. Es sind typisch spätektonische Granite. Ihre Entstehung lässt sich eindeutig in die Phasen der $B \perp B'$ Gefügebildung einordnen, da Granitzugarten gleicher mineralogischer Zusammensetzung und Gefüges sowohl // B als auch // B' anzutreffen sind (vgl. Fig. 7). Diese Granite wurden bei weiterer Verformung der höher-

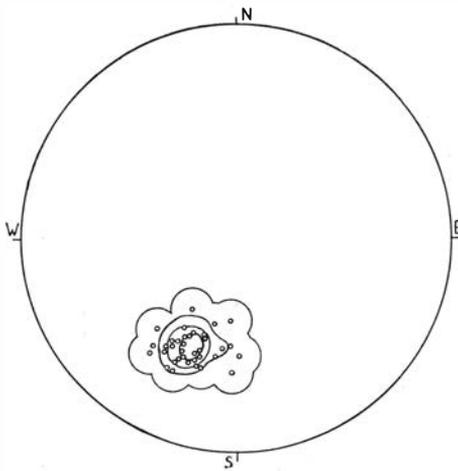


Fig. 9. 36 granitferne B-Achsen im Magnetit-Apatit-Erz. Grube Upland in Malmberget 45-30-15-8-0 %.

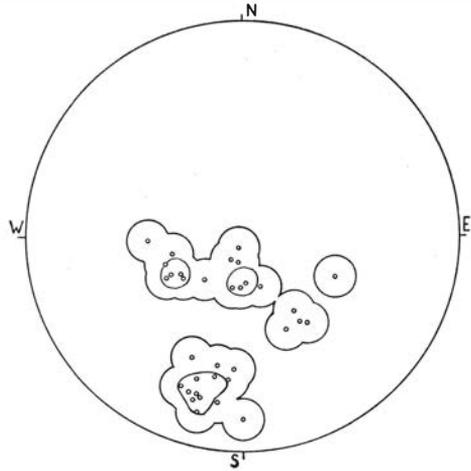


Fig. 10. 33 granitnahe B-Achsen im Magnetit-Apatit-Erz. Grube Upland in Malmberget. 15-8-0 %.

teilbeweglichen Erze und Erzleptite ausgesprochene Inhomogenitäten, die auf verschiedenste Weise die ursprünglichen Lagerungsverhältnisse zerstören konnten. Sie verursachten so Zerreibungen, Abquetschungen und Aufstauungen im Verbandverhältnis des Hochteilbeweglichen. In ihrer Nähe kam es zu Verstellungen des Flächen- und Achsengefüges, wie später an Beispielen belegt wird.

Ein besonders für die Praxis wichtiges Verhalten ist dadurch gegeben, dass das Erz sich auf dem nicht so schnell gegen die Tiefe verlagerten Granitkörpern aufstauen konnte und sie ausgedünnt seitlich umfloss (vgl. Blockbild 4). Beispiele hierfür wurden durch Felduntersuchungen in den Gruben Södra Alliansen und Upland, als auch besonders für zahlreiche Fälle bei Durchsicht der geologischen Profilskizzen im Kartenkontor Malmberget ermittelt.

Fig. 8 zeigt die tektonisch-petrographischen Verhältnisse aus einem Teilbereich der Grube Upland für das 150, 200 und 250 m Niveau. Wegen Unbegehbarkeit des 150 m Niveaus waren tektonische Messungen dort unmöglich gemacht und die Konfiguration des hier verzeichneten Erzes wurde aus alten Grubenkarten übertragen. Die Legende beinhaltet nur die für verschiedene Teilbeweglichkeit charakteristischen Typen, wie Erz und Granit. Ohne Signatur blieben die in ihrem Teilbeweglichkeitsgrad zwischen Granit und Erz rangierenden Leptite.

Beim Vergleich der in den verschiedenen Niveaus auftretenden Erzverteilung und -mächtigkeit erkennt man bemerkenswerte Abweichungen. Die dick eingezeichneten Pfeile weisen auf so ein Beispiel von Erzaufstauung auf Granit. Das im 150 m Niveau annähernd konstant streichende Erz wurde

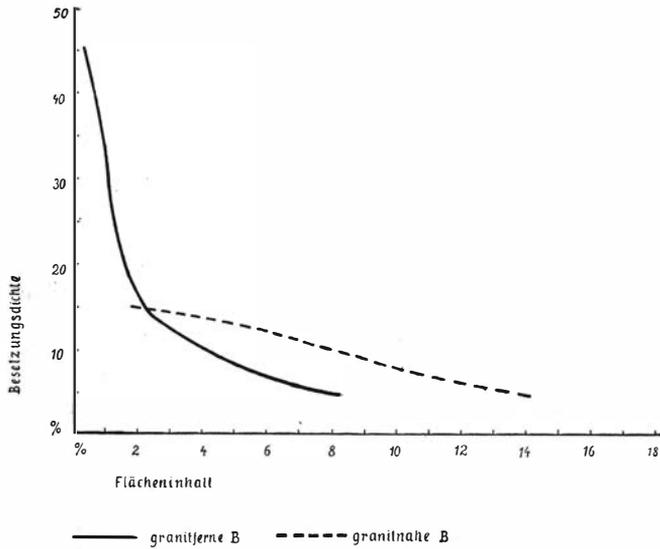


Fig. 11. Diagramm über Dispersionsgrad granitferner (durchgezogene Kurve) und granitnaher (gebrochene Kurve) B-Achsen am Beispiele der Grube Upland.

durch den sich unter $B \perp B'$ bildenden und im 200 m Niveau auftretenden und gegen die Tiefe verbreiterten Granit (vgl. 250 m) gegen SE abgedrängt. Hierbei wurde das im 150 m Niveau etwa 8 m mächtige Erz beim Auftreffen auf den weniger teilbeweglichen Granit im 200 m Niveau zu über doppelter Mächtigkeit aufgestaut. Die unregelmässige Granitverbreitung im 250 m Niveau war wahrscheinlich Grund zu Aufteilung und Abquetschung und damit Komplizierung der Erzlagerung.

d) Entregelung von Flächen- und Achsengefüge bei Bewegung // B

Die belegte Tatsache spätektonischer Granitbildung und ihre freisichtig nicht erkennbare Regelung im Korngefüge sind u. a. Hinweise, dass die stoffkonkordanten B der anderen Gesteinsglieder als Achsengefüge vorlagen, bevor die Hauptphase der Granitbildung einsetzte. Für die Entregelung dieser stoffkonkordanten Achsengefüge stehen nachfolgende Beispiele:

Ein Beweis für den störenden Einfluss des Granites geben die der Fig. 8 beigegebenen Diagramme A—H (untere Halbkugel des Schmidtschen Netzes), die aus der komplizierten Lagerung der verschiedenen stofflichen Glieder sich ergebende Streuung der s-Flächenpole (+) war zu erwarten und ist folgerichtig. Mehr interessiert hier das Verhalten der B-Achsen (·). Neben Streuung im Einzeldiagramm fällt besonders beim Vergleich der Diagramme A—H die gegenseitig oft verschiedene Situation der B-Häufungen auf.

Schon während der Felduntersuchungen wurde konstatiert, dass die Streuung der B in granitnahen Partien grösser als in granitfernen Partien

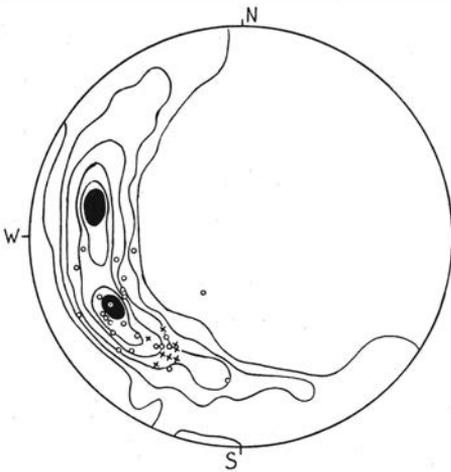


Fig. 12. Östra Dennewitz/Malmberget. 25 B' = O, 8 B² = x, 300 β = Kurven > 12-9-6-3-1-½ %.

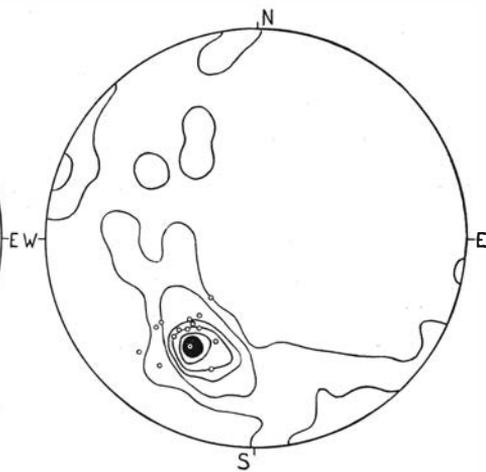


Fig. 13. Grosse Falte Tingvallskulle/Malmberget. 15 B' = O, 120 β = Kurven 28-20-15-10-5-1-0 %.

ist. Die vorgenommene Scheidung in 36 granitnah und 33 granitfern gemessene B und deren Übersichtlichmachung in getrennten Diagrammen (Fig. 9 + 10) zeigt, dass die granitfernen B eine geschlossene Häufung mit konzentriertem Maximum von 45 % Besetzungsdichte bilden (Fig. 9), im Gegensatz zu den granitnahen B, die stark streuen und deren weitflächiges Maximum nur mit 15 % der B besetzt ist (Fig. 10).

Über den Dispersionsgrad geben in Fig. 11 die beiden Kurven (durchgezogen = granitferne B; gebrochen = granitnahe B) Auskunft. In den Kurven ist bezuggenommen auf die prozentuelle Besetzungsdichte (Ordinate) und dem prozentuellen Flächeninhalt der Kurven gleicher Besetzungsdichte im Diagramm (Abszisse). Letzterer wurde durch Planimetrieren ermittelt. Diese kräftige Streuung der B nahe Graniten entstand durch sekundäre Verstellung unter besonderer Einwirkung teilbeweglicher Inhomogenitäten durch das die Einschnürungsbewegungen überdauernde Ausweichen // B. Gleiche Kontrolle für sekundäre Verstellung von Flächen- und Achsengefüge durch B' ergab das gegenseitige Verhalten von B und β Maximum (β ist die Häufung der Schnittlinien aller s-Flächen eines Bereiches und ist ein Mass für die in diesem Bereich herrschende Tautozonalität der s-Flächen (vgl. SANDER 1940, 1948)). So war granitfernes B + s Gefüge durch annäherndes Zusammenfallen der gut ausgeprägten B + β Maxima gekennzeichnet, im Gegensatz zur starken Streuung für B + β und deren divergierender Schwerpunkte bei granitnahe B + s Gefüge. Belege hierfür aus Gruben Upland und Nya Skåne. Die Diagramme werden aus Raummangel nicht publiziert und sind bei der Grubenleitung und dem Verfasser hinterlegt.

Ein weiteres Beispiel für Entregelung von B durch Bewegung // B wird nachstehend gegeben. In der grossen, N 30° E streichenden und mit 30°

gegen SW einfallenden Falte des Tagebaues Tingvallskulle wurde makroskopisch keine Bewegung // B festgestellt. Ein Vergleich der über den gesamten Faltenbereich (200 m Profil) verteilt entnommenen 15 B-Achsen (B_1) mit dem dazugehörigen Flächengefüge (β Maximum) zeigt gute Tautozonalität für s und dessen syntektonische Entstehung mit der Achsenprägung (Fig. 13). Die kleine Differenz (etwa 10°) zwischen β Maximum und B_1 -Schwerpunkt ist auf Verstellung durch während des Abbaues erfolgte Hangrutschungen zurückzuführen.

Nun als Gegenstück Messungen aus dem Tagebau von Östra Dennewitz: Hier sind Bewegung // B häufig beobachtet mit sowohl klein- als auch grossamplitudinalen B' . Das hierzugehörige Diagramm 12 weist gegenüber Diagramm 13 kräftige Streuung für die 25 B_1 und eine Spaltung der gut hervortretenden β Maxima (β_1 und β_2) bei geringerer Tautozonalität auf. Die Differenz zwischen β_1 und β_2 beträgt etwa 35° im Streichen, Fallen bleibt sich gleich. Die sichtbare Streuung der B_1 um β_1 macht wahrscheinlich, dass das ursprünglich für syntektonische Bildung von s und B bezeichnende β und B-Maximum in Nähe von β_1 lag, was auch dem allgemeinen Achsenplan und der Flächenstellung entspricht. Die nun zur Bildung von β_2 notwendige spätere Flächenverstellung war naturgemäss auch mit einer Achsenverstellung, d. h. Streuung verbunden, als deren beider Ursachen die Bewegungen // B angesehen werden müssen.

Zusammengefasst scheint mir an Hand obiger Beispiele erwiesen, dass in Teilbereichen mit Bewegung // B eine Entregelung der B durch B' erfolgen kann, die umso kräftiger wird, je teilbeweglich und stofflich inhomogener der betroffene Bereich ist. Damit ist die von P. GEIJER (1930) im Falle Malmberget getroffene Feststellung von immer übereinstimmender Orientierung der Faltenachse und Stengligkeit (B) insofern einzuschränken, als dies nur für Bereiche ohne stärkere Bewegung // B zutrifft.

Vorgewiesene Exempel sind typische Einzelbeispiele, die sich durch Beobachtungen und Messungen aus anderen Gruben des Erzfeldes vermehren lassen.

Die im Diagramm 12 eingezeichneten 8 B_3 sind mit ungefähr 20° Winkel über B_1 geprägte jüngere stoffdiskordante Achsen, die sich in verschiedenen Teilen des Grubenfeldes (Linné, Alliansen, Östra Dennewitz) finden liessen. Ihre konzentrierte Häufung auf gestreutem B_1 ist Beweis, dass ihre Prägung nach fertig ausgebildetem $B \perp B'$ Gefüge erfolgte.

Vorstehend mitgeteilte Beobachtungen aus Malmberget sind als Resumé der bisher erfolgten tektonischen Felduntersuchungen zu betrachten. Ihre Fortsetzung ist vorgesehen, gleichfalls die bereits begonnene Typisierung der statischen und kinematischen Korngefüge. Diese Studien sollen den Zweck verfolgen, ein möglichst abgerundetes Bild über die petrotektonische Geschichte der Lagerstätte zu schaffen.

Für Vermittlung der Arbeitsmöglichkeit gebührt mein ergebener Dank Herrn Oberdirektor Professor P. GEIJER und Herrn Professor O. H. ÖDMAN; Professor O. H. ÖDMAN danke ich ausserdem für sachkundige Einführung in die Probleme des Grubenfeldes durch gemeinsame Begehungen.

Für die Erlaubnis zur Publikation dieser Beobachtungen aus Malmberget bin ich Herrn Direktor H. GÅRDE von der Luossavaara-Kirunavaara AB zu Dank verpflichtet.

Schliesslich, doch nicht zuletzt, gilt mein Dank Herrn Disponent T. EKSTAM und Herrn Obergeringieur VON POST für freundliche Aufnahme und Umsorge in Malmberget.

Herrn Professor H. G. BACKLUND, Upsala, und Herrn Professor B. SANDER, Innsbruck, danke ich herzlichst für Lesung des Manuskriptes und kritische Anmerkungen, Herrn Professor H. G. BACKLUND auch und Herrn Professor E. NORIN für Aufnahme des Aufsatzes in dieses Bulletin.

Literatur

- GEIJER, P. (1923): Riddarhytte malmfält. (Geologisk beskrivning.) Kungl. Kommerskollegium, Beskr. över mineralfyndigheter, nr 1. Stockholm.
- (1927): Stråssa och Blanka järnmalmfält. S. G. U., ser. Ca, no. 20, Stockholm.
- (1930): Gällivare malmfält. S. G. U., ser. Ca, no. 22, Stockholm.
- (1936): Norbergs berggrund och malmfyndigheter. S. G. U., ser. Ca, no. 24, Stockholm.
- (1938): Stripa Odalfälts geologi. S. G. U., ser. Ca, no. 28, Stockholm.
- & MAGNUSSON, N. H. (1944): De mellansvenska järnmalmernas geologi. S. G. U., ser. Ca, no. 35, Stockholm.
- HJELMQVIST, S. (1937): Beskrivning till kartbladet Smedjebacken. S. G. U., ser. Aa, no. 181, Stockholm.
- HOLMQUIST, P. J. (1924): Långsträckta malmformers bildningssätt. Teknisk Tidskrift, häft. 19, Bergsvetenskap 5.
- HÖGBOM, A. G. (1910): The Gällivare Iron Mountain. Geol. Fören. i Stockholm Förh., Bd. 32, H. 3.
- HÖGBOM, B. (1915): Något om våra medelsvenska järnmalmers djupgående. Teknisk Tidskrift, Kemi och bergsvetenskap, Häft. 7.
- KARL, F. (1952): Analytisch-tektonische Studien an Gesteinen des Gerlostales. Neues Jb. Geol. Paläont., Mh. 1.
- KOARK, H. J. (1951 a): Zur tektonisch-petrographischen Analyse der Kalkbrüche bei Burträsk in Västerbotten. Geol. Fören. i Stockholm Förh., Bd. 73, H. 2.
- (1951 b): Dioptergoniometer für Gefügemessungen im Bereich magnetischer Erzvorkommen. Neues Jb. Mineral., Mh. 8.
- KVALE, A. (1946, 1947): Petrologic and Structural Studies in the Bergsdalen Quadrangle, Western Norway. Part II. Structural Geology. Bergens Museums Årbok, Naturvitenskapelig rekke Nr. 1.
- MAGNUSSON, N. H. (1925): Persbergs malmtrakt: Berggrunden inom de centrala delarna av Filipstads bergslag. Persbergs malmtrakts malmfyndigheter. Kungl. Kommerskoll., Beskrivn. över mineralfyndigheter, 2.

- SAHAMA, TH. G. (1936): Die Regelung von Quarz und Glimmer in den Gesteinen der finnisch-lappländischen Granulitformation. Bull. Comm. Géol. de Finlande, N:o 113.
- SANDER, B. (1930): Gefügekunde der Gesteine. Wien.
- (1936): Über Strömung, Transport und Gefüge. Geol. Rundschau, Bd. XXVII, Heft 3.
- (1940): Neuere Arbeiten am Tauernwestende aus dem Mineralog.-Petrographischen Institut der Universität Innsbruck. Mitt. Reichsstelle f. Bodenforschung, Wien 1 (2).
- (1942): Über Flächen- und Achsengefüge. Mitt. Reichsamt f. Bodenforschung, Wien 1941.
- (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper, Erster Teil: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. Wien und Innsbruck.
- (1950): Zweiter Teil: Die Korngefüge. Wien und Innsbruck.
- SJÖGREN, A. (1891): Åsigterna om jernmalmerne å Gellivara Malmberg och de bergarter, som innesluta malmerne. Geol. Fören. i Stockholm Förh., Bd. XIII.
- SJÖGREN, HJ. (1896): Sulitelmaområdets bergarter och tektonik. Geol. Fören. i Stockholm Förh., Bd. XVIII.
- (1906): Om våra järnmalmers bildningssätt. Geol. Fören. i Stockholm Förh., Bd. XXVIII.
- STUTZER, O. (1906): Die Eisenerzlagerstätte „Gellivare“ in Nordschweden. Zt. f. prakt. Geol., XIV.
- (1907): Geologie und Genesis der lappländischen Erzlagerstätten. Neues Jb. f. Mineral., Beil. Bd. XXIV.
- SUNDIUS, N. (1923): Grythyttedältets geologi. S. G. U., ser. C, no. 312.
- VOGT, TH. (1927): Sulitelmafältets geologi og petrografi. Norges Geol. Undersökelse, Nr. 121.
- (1944): Fjellkjedens flytestrukturer og malmforekomstene, I. Nord-Rana grubefelt. De Kgl. Norske Vidensk. Selskab, Forh. B. XVII, Nr. 30.
- (1948): Flowage Structures and Ore Deposits of the Caledonides of Norway. Intern. Geol. Congr., Part XIII.
-