

Über die geologische Auswertung von Falten der Gesteine*)

Von E. C l a r, Graz

(Erklärung der Falten über die Verformung der Gesteine und den Gebirgsbau; die neuere Methodik ihrer Darstellung und Auswertung.)

(Documentation par les plissements sur la déformation des roches et la structure des montagnes; la plus récente méthode de sa description graphique et son interprétation.)

(Explications of the folds with respect to the deformation of rocks and the structure of mountains; the recent methodology of their representation and evaluation.)

Es erregt manchmal Verwunderung, wenn in unseren Alpen öfters geologische Karten, die vielleicht nur einige Jahrzehnte alt sind, schon als veraltet und für neuere Fragestellungen als nicht mehr zureichend betrachtet werden. Art, Verbreitung und Lagerung der Gesteine sind ja, von geringfügigen oberflächlichen und örtlichen Ausnahmen abgesehen, unverändert geblieben, verändert hat sich nur das Bild, das wir uns von ihnen machen, der Einblick in die Struktur des Gebirges.

Das Bild, das geologische Karten von der Struktur des Untergrundes zu zeichnen versuchen, ist zusammengesetzt aus der Kombination einer sehr großen Zahl von Einzelbeobachtungen, die aber nur von den ganz ungleich dicht verteilten Stellen stammen, wo der Oberflächenschutt und die Vegetationsverhüllungen den Untergrund in „Aufschlüssen“ zur Beobachtung freigeben. In einfach und günstig gelagerten Fällen sind auf diesem Wege schon überraschend genaue Voraussagen für nachfolgende künstliche Aufschließungen erzielbar; wo aber das Felsgerüst des Gebirges unter ausgiebiger Verformung der Gesteine wahrhaft verwickelte Strukturen erhalten hat, erreicht die Auswertung von Oberflächenbeobachtungen oft nur eine sehr rohe Annäherung unseres Bildes an die wirklichen Komplikationen, die dann ein bergbauliches Grubengebäude oder technische Aufschließungen entblößen. Die prinzipielle Richtigkeit unseres Bildes hängt davon ab, inwieweit wir imstande sind, aus den örtlichen Einzelbeobachtungen Erkenntnisse von breiterem Geltungsbereiche abzuleiten.

So ist die in modernen geologischen Karten und Detailaufnahmen ausgedrückte Verfeinerung des Bildes der Gebirgsstruktur nicht nur der Erfolg einer Verdichtung des Begehungs- und Beobachtungsnetzes; sie setzt vielmehr einen stetig sich vollziehenden Fortschritt in der Aufgliederung von Schichtfolgen, in den Erkenntnissen über Gesteine, ihre Bildungsweise und ihre Umwandlungen, über die Wesenszüge von komplizierten Gebirgsstruk-

turen usw. voraus. Aber auch die Methodik der geologischen Beobachtung und Auswertung entwickelt sich weiter.

Unsere Alpen werden noch oft als „Faltengebirge“ bezeichnet, obwohl man lange weiß, daß das Wesentliche ihres Gebirgsbaues — von kleineren Teilgebieten abgesehen — nicht mit gewöhnlichen Falten oder Sonderformen von solchen, wie Deckfalten, zu erklären oder auch nur zu kennzeichnen ist. Mit Recht gelten die Gesteinsfalten seitdem hier mehr als ein begleitendes Ornament des Überschiebungsbaues bzw. der gegenseitigen Verschiebung großer Gesteinsmassen überhaupt. Falten von einer Art, wie wir sie in Lehrbüchern zu zeichnen pflegen, etwa mit regelmäßig durch Mulden und Sättel durchziehenden Schichten, sind im alpinen Gebirge durchaus nicht häufig und werden — ob nun in Größenausmaßen von Kilometern oder nur in den Metern oder Dezimetern des einzelnen Gesteinsaufschlusses — mit Hervorhebung ihres Seltenheitswertes beschrieben.

Weit verbreitet hingegen, besonders in schiefri- gen Gesteinen, ist eine ungleich unregelmäßigere, wildere Verfaltung, in der sich im großen und im kleinen die einzelnen Schichtlagen immer wieder verlieren oder schließlich nur mehr stengelig gerollte, linear gestreckte Faltelemente den Aufbau des Gesteines kennzeichnen. Eine ältere, mit Formaltypen, wie aufrechte, liegende, isoklinale Falten usw., arbeitende Methodik kommt in der Analyse solcher Verformungsgrade wenig über die Feststellung einer „wildern Verfaltung“ hinaus. Was solche Verfaltungen an Auskunft über den Gebirgsbau enthalten, erschließt systematisch erst die Methode der von B. S a n d e r in Innsbruck entwickelten „Gefügekunde“*). Am Studium der Korngefüge von Gesteinen bereits in allgemeiner Form entwickelt, wurde sie besonders durch O. S c h m i e d e g g und A. F u c h s in die praktische geologische Geländearbeit eingeführt und gehört heute zu deren leistungsfähigem Rüstzeug.

*) Nach einem bei der Frühjahrstagung 1949 der Fachgruppe für Mineralogie und Geologie des Naturwissenschaftlichen Vereines für Kärnten gehaltenen Vortrag.

*) Siehe besonders: B. S a n d e r, Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper; I. Teil, Springer, Wien-Innsbruck 1948.

An einem kleinen Ausschnitt, dem Beispiel einfacher Arten von Verfaltung, läßt sich diese Betrachtungsweise vielleicht am schnellsten näherbringen.

Falten der Gesteine sind — wieder von seltenen, bestimmten Ausnahmen abgesehen — kein ursprüngliches Merkmal dieser, sondern wohl der augenfälligste Beleg für ihre Verformung bei der Gebirgsbildung. Gewisse Typen davon (Stauchfalten, Biegefalten) geben in angenäherter Weise Auskunft über den Zustand des Gesteines während der Verfaltung bzw. über die Bedingungen, denen ein solches Gestein, das wir heute an der Oberfläche nur zerbrechen, aber nicht biegen können, damals unterworfen gewesen sein muß, u. ä. m.

Die für eine Vorstellung über die Bewegungen beim Bau des Gebirges wichtigste Auskunft solcher Falten ist aber die, daß der Erdkrustestreifen in ihrem Bereich eine Einengung erfahren hat, deren Ausmaß in den allereinfachsten



Abb. 1 a:

Einengung der Breite eines Gesteinstreifens bei Faltung

Fällen geometrisch zu ermitteln ist (siehe Abb. 1 a). Irgend welche, als einspannende „Backen“ wirkende Gesteinsmassen zu beiden Seiten haben sich dabei einander genähert, u. zw. in einer Richtung normal auf die Achsen dieser Falten (also hier in der Zeichenebene). In ihrer Raumlage bestimmte Achsen von Falten auch kompliziertester Art erlauben die Feststellung, daß der zugehörige „tektonische Transport“ in der Ebene normal zu ihnen stattfand.

Oft sind Falten gebietsweise gleichartig nach einer Seite umgekippt (monotrop), die Geologen sprechen dann auch von einseitiger „Vergenz“



Abb. 1 b:

Einseitiger Faltenwurf (Monotropie)

der Falten. Dabei haben sichtlich (Abb. 1 b) scherende Bewegungen eingegriffen (bei horizontaler Ausgangslage wenigstens in einer Schar im Sinne des eingetragenen Pfeilerpaares). Die Gefügekunde stellt Mittel bei, reine „Scherfalten“ und reine „Biegefalten“ sowie die häufigen Mischtypen beider zu erkennen.

Aus einer bestimmten „Vergenz“ von Faltengruppen schließt der Geologe gerne — in die Horizontalprojektion der geologischen Karte übergehend — auf eine Relativverschiebung des

Oben und Unten der Zeichnung im Sinne der strichlierten Pfeile der Abb. 1 b. Daß aber in solchen Schlüssen vielleicht überraschend große Vorsicht geboten ist, zeigt anschaulich ein Versuch mit einem Paket Kartonblättern etwa in folgender Weise: An der rechteckigen Seitenfläche eines Stoßes Kartonblätter (Abb. 2 a) ist eine Schichtenvorzeichnung angebracht (Ausgangslage strichliert), und diese ebene Vorzeichnung ist nun durch ungleiche Verschiebung der Kartonblätter aneinander in die ausgezogene, der Abb. 1 b ähnliche Faltenform umgebildet (ebene „nichtaffine“ Zerschering an einer Scherenflächenschar). Eine ähnliche oder gleiche Faltenform ist jedoch auch erzeugbar, wenn man mit Abb. 2 b eine ebenfalls ebene Schichtvorzeichnung anderer Ursprungslage an einer Schärenflächenschar gleicher Lage, aber mit entgegengesetzten Verschiebungssinn umformt. Daher: Um aus der „Vergenz“ von Falten einen Schluß auf den Relativsinn der Verschiebung zu ziehen, muß die Ausgangslage der Schichten bekannt sein, wie das zum Beispiel bei Sedimentgesteinen nur bei deren erster Faltung, nicht bei späteren Umformungen genügend zutreffen muß.

Auch für die Erkennung des Relativsinn der Verschiebung hat die Gefügekunde feinere Mittel, zum Teil in mikroskopischer Untersuchung, abgeleitet; darauf sei hier jedoch nicht eingegangen.

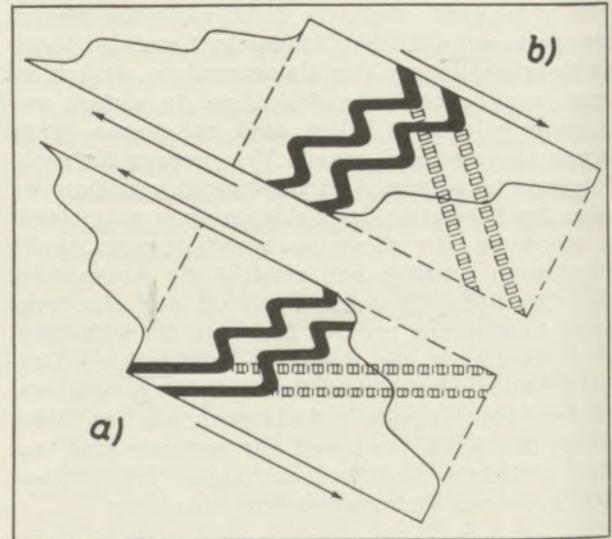


Abb. 2:

Gerade Schicht-Vorzeichnungen an der rechteckigen Seitenfläche eines Stoßes Kartonblätter, durch scherende Verschiebung der Blätter aneinander zu Falten verformt. In a) und b) gleichartige Faltenformen durch entgegengesetzten Verschiebungssinn (aus anderer Ausgangslage) erzeugt

Durch die Faltenformen unserer Kartonpakete der Abb. 2 geht in der Zeichenebene, senkrecht stehend und normal auf die „Achsen“ der erzeugten Falten eine Symmetrie-Ebene; in

dieser liegt, gleichgültig mit welchem Relativsinne, die Verschiebungsrichtung, d. h. geologisch gesehen die Richtung des tektonischen Transportes. In gleicher Weise sind alle in einem einzelnen Bewegungsakte geprägten natürlichen Falten notwendig bilateralsymmetrisch und die erzeugende Bewegung lag in der Symmetrie-Ebene. Im betrachteten Falle war die erzeugte Symmetrie — kristallographisch gesprochen — monoklin.

Wie an Kristallen lassen sich im Gefüge verformter Gesteine und an geologischen Strukturen verschiedensten Größenmaßstabes verschiedene Arten oder Grade von Symmetrie erkennen (bes. rhombische, wirtelig-symmetrische, monokline, triklone). Feststellungen solcher Symmetrie verbinden Gebilde der verschiedensten Größenordnung, bei Falten von kilometerweit gespannten bis herab zu mikroskopischen, zu zusammengehörigen oder vergleichbaren Typen und Gruppen. Und die Symmetrie im Gefüge eines umgeformten Gesteinskörpers läßt dann Schlüsse zu auf eine gleichartige Symmetrie des verformenden „tektonischen Planes“, unter Umständen auf eine Überlagerung von zeitlich oder örtlich aufeinanderfolgenden Plänen und Verformungen.

Beobachten wir zum Beispiel in einem größeren Gebiet immer wieder an irgend welchen Falten, an der Kleinfältelung und anderen Verformungen gleiche Symmetrien in gleicher räumlicher Lage, dann werden auch die unerschlossenen Teile dieses Gebietes nach den gleichen Symmetriegesetzen gebaut sein, weil das ganze Gebiet nach dem gleichen tektonischen Plan homogen geprägt sein muß.

Ein solcher „Plan“ wird gekennzeichnet durch entsprechend gelegte Bezugsachsen und deren räumliche Lage gegenüber den Erdrichtungen. Bei der zumeist verwirklichten „ebenen“ Verformung der Gesteinskörper wählt man ein rechtwinkeliges Achsenkreuz mit a in der Richtung der größten Einengung oder des „tektonischen Transportes“, mit c als Normale darauf in der Verformungsebene und mit b als der Normalen auf die a - c -Ebene. In einer Falte, etwa wie Abb. 3, liegt

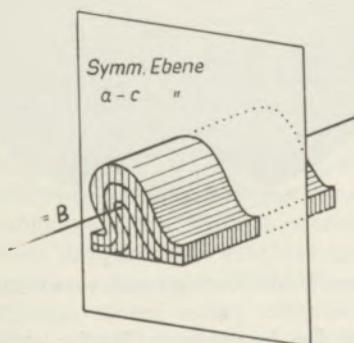


Abb. 3:

Tektonisches Bezugssystem einer Faltenform

dann b in der Richtung der Sattel- und Muldenlinien, kurz der Faltenachsen, die a - c -Ebene normal dazu ist die (hier einzige) Symmetrie-Ebene, in der a je nach Art der Falte nicht immer festlegbar ist oder bei Betrachtung von Teilbereichen pendelt.

Ist die Richtung dieser Bezugsachse b im Gestein oder der geologischen Struktur durch irgend welche linearen Elemente des Gefüges beobachtbar oder meßbar verwirklicht, so wird sie „ B “. Faltenachsen — aber nicht sie allein — sind also „ B -Achsen“, eine Bezeichnung, der man heute durch zunehmende Verbreitung der Gefügekunde in der geologischen Arbeit nicht mehr selten begegnet.

Der Wert bewußter Beachtung der räumlichen Lage von B -Achsen wird deutlicher, wenn man nicht mehr nur an offene oder einseitig überkippte Falten usw. denkt, sondern an jene „intensivere“, oft „polytrope“ (mehrseitige) Verfaltung und Verknäuelung von Schichten mit wirbelartigen Gebilden, ähnlich erstarrten Fließwirbeln in strömenden Flüssigkeiten, wo dann immer mehr ein Lineargefüge parallel B , oft als „Streckung“ bezeichnet, und stengelig gerollte Formen im einzelnen die räumliche Ausdehnung der „Schichten“ einer Gesteinsfolge bestimmen; oder andererseits an die Möglichkeit, auf fast ebenen Verschiebungsebenen der Gesteine durch Beobachtung zarter Wellung oder ähnlicher Linearstrukturen die Richtung der tektonischen Verschiebungen einzuorientieren. Freilich gibt es auch andere lineare Gefüge als solche nach B .

Man muß natürlich weiterhin versuchen, in gefalteten Gesteinsfolgen die einzelnen Schichten durchzuverfolgen und so den Faltenbau aufzulösen, aber zur Kennzeichnung eines gefalteten Stückes im Gebirgsbau und seine Rolle darin gehört wohl heute schon als wichtigstes die räumliche Orientierung des Planes dieser Faltung oder Umformung. Z. B. verfaltet mit O-W-streichenden, horizontalen Achsen oder nach einem Plan B^0 in E-W.

Es ist nämlich die Vorstellung, daß in einem „Faltengebirge“ die Achsen der Verfaltung (B) generell etwa horizontal liegen und in der Längsrichtung des Gebirges streichen müßten, wie neuere Untersuchungen immer mehr zeigen, nicht begründet. Zahlreich sind schon die Beispiele aus unseren Alpen, wo Faltenzonen quer oder schräg zur Längsrichtung des Gebirges streichen, oder wo die Achsen B schräg eintauchen und sogar steil stehen. Der charakteristische Schnitt durch solche Verfaltungen ist dann immer der in der Ebene normal B — Symmetrie-Ebene —, nicht mehr das gewohnte Saiger-Profil.

In der geologischen Karte oder Detailaufnahme sind Falten leicht erkennbar, wenn sie sich in einer mehr oder minder symmetrischen Wiederholung regelmäßiger Schichtfolgen auswirken oder wenn eine Neigung der Achsen zur Oberfläche einen schlingenartigen Verlauf der Schichtbänder ergibt.

Fehlen aber regelmäßig durchstreichende Schichtlagen, so reicht die übliche Darstellung der Gesteinslagerung durch „Fallzeichen“ auf der Karte bald nicht mehr aus, um die Zugehörigkeit der verschiedenen beobachteten Lagerungen zu einer einheitlichen Verfallung zu erkennen.

Dazu zwei Beispiele: Eine geschlossene Beobachtungsreihe quer über eine N-S-streichende, aufrechte, sinusartige Falte ergibt im Kartenbild Fallzeichen von der Art der Abb. 4 a; Beobachtung-

kugel, gedacht mit einem Gradnetz nach Abb. 6 (die Gefügekunde verwendet nach dem Vorschlag von W. Schmidt wegen der statistischen Auswertung das Netz der Lambertschen flächentreuen Projektion). Dargestellte Richtungen und Flächen werden durch den Mittelpunkt der Kugel gelegt, erstere erscheinen daher auf der Kugeloberfläche als Durchstoßpunkte entsprechender Lage (Punkte 1—9 oder B der Abb.), letztere im Schnitt mit dieser als Großkreise (s. 1—9 der Abb.).

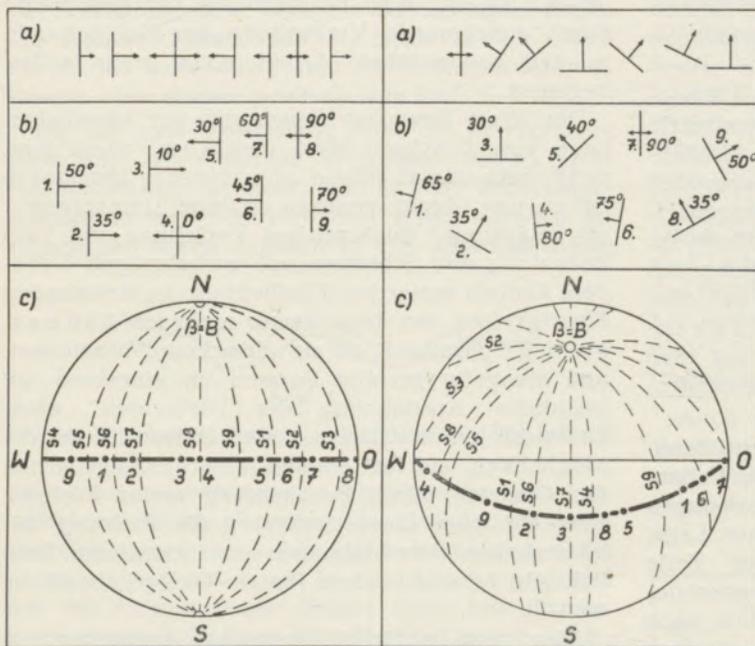


Abb. 4 und 5:

Einfache Zeichenbeispiele von Schichtlagerung bei Verfallung mit horizontal N-S-streichender (4) und mit 30° gegen Nord geneigter Achse (5);

- a) geschlossene Folge von Fallzeichen quer zur Falte;
- b) Beispiele von Messungen über einen lückenhaft erschlossenen, verfallten Bereich, dargestellt durch Fallzeichen;
- c) Darstellung der Messungen 1—9 aus den beiden Abb. b) in der flächentreuen Lagenkugel-Projektion; strichlierte Großkreise s¹⁻⁹ sind die Schnittkreise der Flächen, Punkte 1—9 die Durchstoßpunkte der Flächennormalen (Pole II) in der Zone der B-Achse (dicke Linie).

gen über einem Flächenstück mit Verfallung gleicher Achsenlage mag in Fallzeichen ausgedrückt etwa ein Bild wie Abb. 4 b ergeben. Hier ist unschwer das gemeinsame N-S-Streichen in allen Beobachtungen als das gesetzmäßig verbindende Merkmal erkennbar.

Die Beobachtungsreihe der Abb. 5 a stammt von einem gefalteten Schichtband, dessen Faltenachse gegen Norden geneigt ist, das Streichen also schwenkt. Messungen in einem lückenhaft aufgeschlossenen Faltenfeld dieser Art könnten etwa das Bild der Abb. 5 b geben; hier ist — trotzdem der Fall einfach gewählt ist — nicht mehr im Überblick aus dieser Darstellungsart erkennbar, ob die gemessenen Lagerungen einer Verfallung mit einheitlicher Achsenrichtung zugehören oder ungesetzmäßigen Schichtverbiegungen.

Eine rasche Übersicht über die Beziehung der gemessenen Schichtlagen zueinander ermöglicht hier die durch die Gefügekunde in die geologische Feldarbeit eingeführte Darstellung in der „Lagenkugel“. Zugunsten einer überlegenen Darstellung der Raumlage von Schichten verzichtet sie auf eine Feststellung des örtlichen Nebeneinander.

Der Kreis in den Abb. 4 c und 5 c, sowie in den folgenden, sei die untere Hälfte einer Hohl-

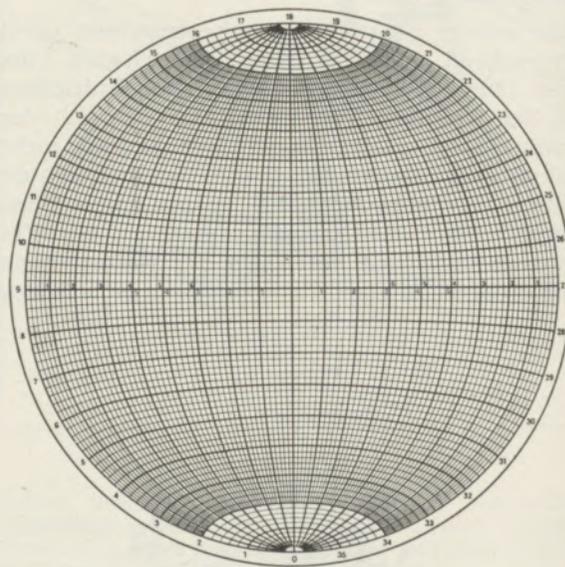


Abb. 6:

Flächentreues, in der Gefügekunde verwendetes Gradnetz

Oft wird die Lage einer Fläche jedoch zweckmäßiger durch den Durchstoßpunkt der Normalen auf ihr dargestellt, das ist dann der Pol π dieser Fläche.

Alle in der Abb. 4 a und 4 b durch Fallzeichen dargestellten beliebigen Flächenlagen aus einer Falte mit N-S-streichenden horizontalen Achsen B erzeugen — auch ohne Konstruktion leicht vorstellbar — eine gemeinsame Schnittgerade in der N-S-Achse der Lagenkugel. Die gemeinsame Schnittgerade der Flächen einer Falte ist die Faltenachse, bzw. hat die Richtung der erzeugenden Faltenachse. Die Flächenpole hingegen — die Normalen auf die Flächen — ordnen sich im gleichen Falle (s. Abb. 4 c) am Äquator zwischen West und Ost. Die Flächenpole einer Faltenform besetzen also einen Großkreis der Lagenkugel normal auf die Faltenachse als Rotationsachse, was ja aus der Entstehungsweise einer Biegefalte sehr gut vorzustellen ist. Kristallographisch gesehen bilden die Flächen eine Zone zugehörig zur Faltenachse als Zonenachse.

Bei geneigter Achse der Falte entsteht naturgemäß ein geometrisch gleiches Bild, nur um die Neigung der Achse verdreht. In Abb. 5 c sind die Pole der oberhalb in 5 b mit Fallzeichen dargestellten Flächen eingetragen und sie besetzen wieder einen Großkreis zwischen West und Ost; die konstruktive Schnittgerade (gefügekundlich als β bezeichnet) fällt zusammen mit der Faltenachse B. Das heißt: In der Lagenkugelprojektion sind sofort alle auftretenden Flächenlagen als zugehörig zu einer einheitlichen Faltenachse erkennbar, wobei Richtung und Neigung der Achse am Gradnetz ablesbar ist.

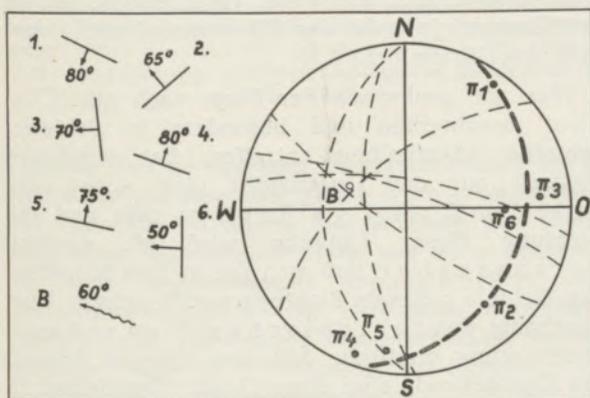


Abb. 7:

Naturbeispiel für die Überprüfung der Zusammengehörigkeit von Messungen des Verflächens in der Lagenkugelprojektion (siehe Text)

Abb. 7 gibt ein kleines praktisches Beispiel für die Nützlichkeit dieses Verfahrens. Auf wenigen m² Aufschlußfläche eines Stollens waren die links mit Fallzeichen dargestellten Flächenlagen meßbar, dazu nur an einer einzigen Stelle eine deutliche Faltenumbiegung, deren Achse entsprechend dem gewellten Pfeil der Abbildung eintauchte. Es war für einen bergbaulichen Entschluß wichtig zu wissen, ob hier Faltung vorliegt und in welcher Richtung sich dann die Falten fortsetzen, oder ob

hier eine andere Art von Schichtstörung durchzieht; die Fallzeichendarstellung allein läßt dies nicht erkennen. In der Lagenkugel liegen die Flächenpole angenähert auf einem Großkreis (dick strichliert) normal zur einzigen gemessenen Faltenachse (Ring B), und die Flächenkreise selbst (dünn strichliert) bilden demgemäß Schnittgerade β , die nächst B liegen. Die gemessenen Flächenlagen sind also auf eine Faltung mit der gemessenen Achsenlage beziehbar.

Daß die geometrische Beziehung zwischen Flächenlagen und Achse hier nur angenähert erfüllt ist, hängt einerseits an der durch die Art des Aufschlusses erzwungenen Ungenauigkeit der Messung, die bezeichnenderweise trotzdem die Sicherheit des Ergebnisses nicht beeinträchtigt; andererseits daran, daß die Natur ihre Faltenachsen meist nicht als geometrisch genaue Schar paralleler Geraden, sondern als Bündel oft leicht gekrümmter Linien mit Streuung um einen Richtungsschwerpunkt ausbildet.

Diese Tatsache der Streuung der Richtungsdaten in verformten Gesteinen verlangt, daß nicht nur einzelne, sondern eine große Zahl von Messungen gemacht und ausgewertet wird, und sie verlangt sehr oft, daß diese Auswertung die bevorzugten Richtungslagen erst auf statistischem Wege ermittelt. Auch das möge kurz ein Beispiel veranschaulichen.

Im Lagenkugeldiagramm der Abb. 8 a sind aus einem bestimmten, gebirgsbaulich homogenen Teil einer alpinen Erzlagerstätte eingetragen: Als Ringe, vorwiegend in WNW, 187 Durchstoßpunkte direkt gemessener Faltenachsen, und als Punkte, vorwiegend als Gürtel zwischen N und S, 441 Pole von Schichtflächen.

Es ist daran sofort eine „Regelung“ der räumlichen Lage in der Art zu erkennen, daß die B-Achsen überwiegend flach gegen WNW fallen und die Masse der Flächen einen zugehörigen Großkreisgürtel besetzt. Auch diese bereits ganz ungewöhnlich strenge Regelung wird durch eine statistische Auszählung der Dichte der Punktbesetzung deutlicher, während schwächere Regelungengrade vielfach erst durch diese Auszählung erkennbar werden. In Abb. 8 b sind die Punktlagen der Abb. 8 a statistisch ausgezählt, es bezeichnet der kleine Ring das Maximum in der Besetzungsdichte der Kugel mit B-Achsen, das kleine Kreuz das der Schnittflächenpole. Ähnlich der Schichtliniendarstellung eines Berges nimmt vom Maximum nach außen die Dichte der Punkthäufung ab und der Bereich außerhalb der etwas dicker gezeichneten Linie ist gegenüber einer statistisch gleichmäßigen Verteilung der Lagen auf der Kugel „unterbesetzt“.

Wir erhalten aus dem Diagramm u. a. folgende Auskünfte: Sämtliche häufigen Flächenlagen sind auf eine einheitliche Faltung mit den gemessenen Lagen von B als Faltenachsen beziehbar. Die Flächenverteilung im Gürtel ist nicht rotationssymmetrisch in bezug auf die Faltenachse,

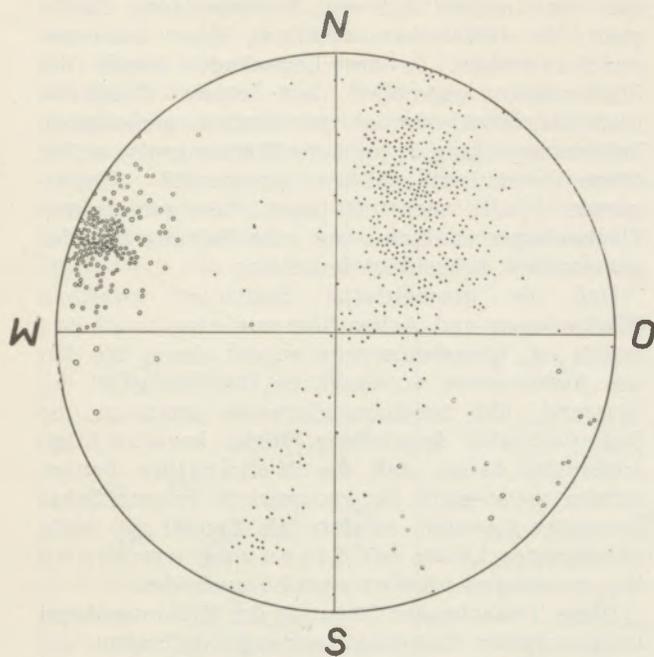


Abb. 8 a:

Lagenkugel mit Messungen aus einem tektonisch nahezu homogenen Faltenbereich; Ringe: 187 B-Achsen; Punkte: 441 Flächenpole

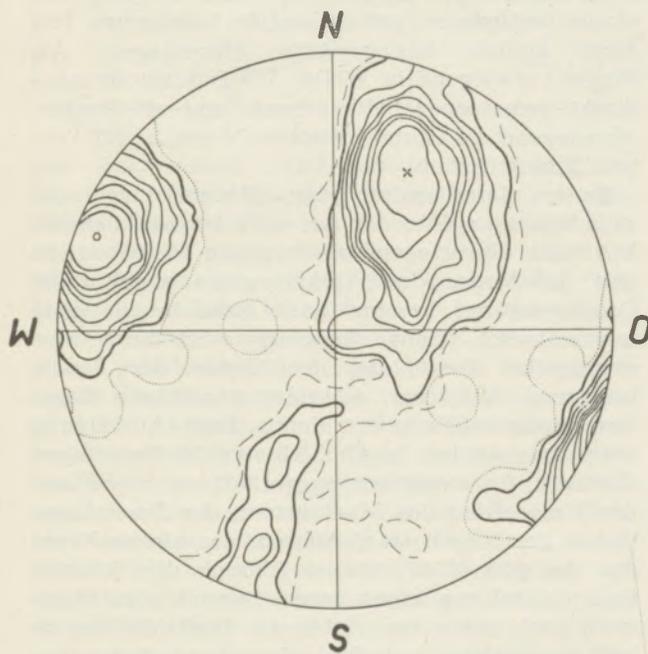


Abb. 8 b:

Lagenkugelprojektion von Abb. 8 a statistisch ausgezählt mit Zählkreis von 1% der Fläche;

Ring: Lage-Maximum der B-Achsen; Besetzungstufen: 38 — 20 — 15 — 10 — 8 — 6 — 4 — 3 — 2 — 1 — 1/2 — 0% (n-fache Punktdichte gegenüber gleichmäßiger Verteilung über die Projektionsfläche).

Kreuz: Lage-Maximum der Schichtflächenpole; Besetzungstufen: 14 — 10 — 8 — 6 — 5 — 4 — 3 — 2 — 1 — 1/2 — 0%

und unter den im ganzen Gürtel gleichmäßig zulässigen Lagen wird ein engerer Bereich südsüdwestlichen Einfallens sehr bevorzugt; die Faltung war nicht sozusagen „rollend“, sondern die faltende Einspannung hat die Faltschenkel vorwiegend in eine bestimmte Lage gepreßt. Diese statistische Flächenanordnung wird dann — nebenbei bemerkt — auch für die Richtung jüngerer Verwerfungen mitbestimmend. Die erhaltenen Maxima für Achsen und Flächen geben ferner an, was man bei extrapolierenden geologischen Konstruktionen — wie in der Planung von Aufschlußarbeiten nötig — als den wahrscheinlichsten Wert für die Richtung der Faltenachsen und des Schichtfallens einzusetzen hat. Größere Abweichungen davon lassen vielfach erst dadurch, daß vorerst dieser Wert genauer festgelegt ist, ihre spezielle geologische Ursache suchen und finden (hier zum Beispiel Abschleppung in der Nähe von Verwerfungen).

In dem hier als Beispiel herangezogenen Falle bestimmen die aus der tektonischen Verformung des Gesteinskörpers herrührenden Formelemente ihrerseits die Form jüngerer Verdrängungskörper und gewinnen dadurch das praktische Interesse. Diese Formelemente sind Faltenstengel, also in der Richtung der statistisch ermittelten B-Achsen langgestreckte Körper. Im Zusammenhang mit der nicht rotationssymmetrischen Anordnung der Flächenlagen im Gürtel normal B erhalten diese Faltenstengel aber nicht annähernd rundlichen, sondern linsenförmigen Querschnitt, und zwar voraussagbar um so flachlinsiger, je mehr das Flächenmaximum innerhalb des Gürtels betont ist.

Was wir geologisch der Form nach als „Linsen“ beschreiben und besonders in Schiefergebieten allenthalben antreffen, hat überhaupt vielfach nur den Querschnitt einer Linse, der flache Umriß pflegt gelängt zu sein und die Richtung dieser Längung wird oft dadurch voraussagbar, daß man die in dem betreffenden Gebiete geltende Richtung von B-Achsen bzw. überhaupt den tektonischen Plan und seine Orientierung ermittelt. Mit den feineren Mitteln der Gefügekunde sind diese Daten allenthalben in tektonisch verformten Bereichen auch da feststellbar geworden, wo sie älterer Methodik verborgen geblieben waren.

Unser Beispiel war, wie gesagt, eine für die Verhältnisse der Natur extrem strenge „Regelung“; doch wird die Methode einer statistischen Auswertung zahlreicher Messungen bei niedrigeren Regelungsgraden nur noch mehr überlegen. Unser Beispiel war auch insofern gesucht einfach, als die Flächen- und Achsenlagen einem einzigen Faltungsakte entstammten. Das Bild wird natürlich wesentlich verwickelter, wenn — durchaus nicht selten — verschieden alte Faltungen oder Verformungen überhaupt sich überlagern. Solche Fälle wurden wohl überhaupt erst

durch die gefügekundliche Betrachtungsweise systematisch analysierbar und auswertbar.

Abb. 9 als Beispiel ist ein Diagramm von B-Achsen in einem größeren Gebiet mit drei sich nahezu rechtwinkelig kreuzenden Scharen davon. Die Gesamtverformung des Bereiches war in drei zeitlich aufeinanderfolgende Akte mit drei in ihrer räumlichen Lage unterscheidbaren Plänen B auflösbar.

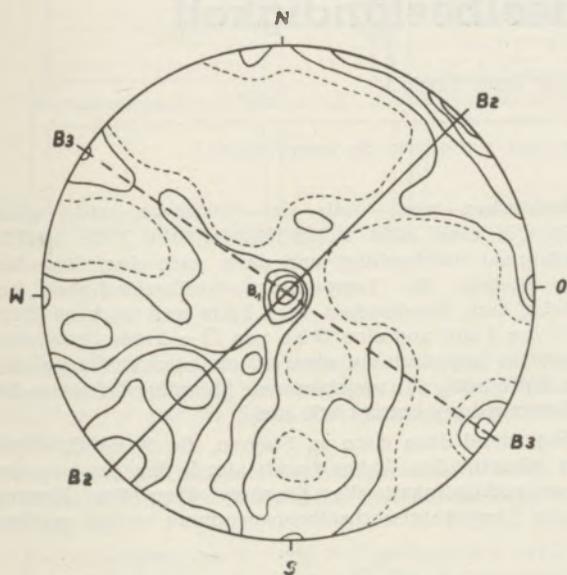


Abb. 9:

Lagenkugel-Diagramm von 387 feldgeologisch gemessenen B-Achsen eines großen Kristallgebietes; Besetzung: 10 — 8 — 5 — 3 — 2 — 1 — 1/2 — 0%. (Nach O. Schmiedegg, Jahrbuch Geologische Bundesanstalt, Wien 1937)

Dieser Fall ist aus dem Diagramm relativ leicht vorstellbar; es mag aber daraus auch ersehen werden, daß die Erkennung und Analyse von Überlagerungen tektonischer Pläne aus einer zunächst nur bunt erscheinenden Mannigfaltigkeit von Gesteinslagerungen — die sich dabei notwendig ergibt —, die Verwertung von Merkmalen für die zeitliche Folge der Verformung, mit konstruktiver Ausglättung von Verbiegungen, notwendigen mikroskopischen Kontrolluntersuchungen usw., sehr schwere und langwierige Aufgaben stellt. Doch sollen die vorherigen einfachsten Beispiele ausreichen, um die gefügekundliche Betrachtungsweise an sich und ihr Anwendungsgebiet einem Verständnis näherzubringen.

Zusammenfassung

Eines der nützlichsten Hilfsmittel des Feldgeologen für die detaillierte Analyse der Strukturen des Gebirges ist die Methodik der Gefügekunde nach Bruno Sander geworden. Man begegnet ihrer Darstellungsart daher zunehmend gerade in bergbaugeschichtlichen und technisch-geologischen Unter-

suchungen. Im obigen Artikel wird versucht, am Beispiel von Falten in Gesteinen Grundsätzliches dieser Untersuchungsart zu machen.

Falten sind nicht die beherrschende Grundform des alpinen „Faltengebirges“, aber der unmittelbar verständliche Beleg für die Gesteinsverformung in ihm. Der tektonische Plan solcher Verformung ist, unabhängig von Größenordnung und Komplikation, räumlich zu orientieren aus der Symmetrie der Faltenformen und der räumlichen Lage ihrer Achsen („B-Achsen“). Einfache Beispiele zeigen die Art der Darstellung und die Zweckmäßigkeit statistischer Auswertung für die Erkennung der „Regelung“ in der Lage von Flächen und linearen Richtungen des Gesteins. Auf weitere Anwendung wird nur hingewiesen.

Summary

The methodology of the structural Petrology by Bruno Sander has proved one of the most useful aids of the field geologist for the detailed analysis of geologic structures. The methods of representation given there found an ever increasing application in investigations in the mining — and engineering geology. The report attempts to illustrate the principles of this method of research by means of an example of folds in rocks.

Folds are not the dominant form of the alpine „Faltengebirge“, but the obvious proof for the deformation of the rock in it. The tectonic plan of such deformations must be spatially orientated by the symmetry of the form of the fold and the spatial collocation of its axes („B-axes“), independent of extent and complications. Simple examples show the way of representation and the usefulness of statistical evaluation for the apperception of the arrangement in the orientation of planes and linear alignments of the rock. Further applications are referred to.

Résumé

La methode de la petrographie structurale par M. Bruno Sander est devenue un des expédients le plus utile du géologue en ce qui concerne l'analyse détaillée des structures géologiques. C'est pourquoi que cette methode de description est toujours plus utilisée dans les étredes de géologie minière et technique géologique. L'Article essaie de communiquer le principe essentiel de cette methode à l'aide des plissements dans les rochers.

Il est evident que les plissements ne sont pas la forme dominante du „Faltengebirge“ alpestre mais la preuve apparenta de la déformation des rochers. Le plan tectonique de telles déformation doit être orientré par la symmetrie des formes de plissements et de la situation de leur axes („axes B“) independemment de leur grandeur et forme complexe. Des simples exemples montrent la forme de cette description et l'utilité de l'exploitation statistique pour comprendre le système dans l'orientation des plaines et des alignements linéaires des rochers. Des applications ultérieures sont indiquées.