

Gefügekunde und Baugeologie

(Mit 3 Abbildungen.)

Von Bruno Sander.

Im folgenden ist eine kurze Übersicht über derzeitige Zusammenhänge zwischen gefügekundlichen Beiträgen und baugeologischen Aufgaben versucht. Dies geschieht für weitere, nicht gefügeanalytisch geschulte Kreise, demgemäß in der Form, wie sie 1955 für eine Publikation in den U.S.A. gedacht war, wobei sich allerdings die Voraussetzung, was Grundlagen betrifft, als für Bauingenieure unangemessen erwies. Dies liegt aber im deutschen Sprachbereich heute bereits günstiger, wie die mehrjährige Beachtung solcher Arbeitswege durch das Ingenieurbüro Dr. Leopold MULLER, Salzburg, ferner durch Publikationen (siehe Schriftenverzeichnis) und durch unpublizierte Gutachten bezeugt.

Über die schon ausgedehnte Anwendung solcher Arbeitswege von seiten der Aufnahmsgeologen wird hier nicht berichtet. Aber angesichts der Frage mancher Praktiker, ob sich die Sache lohne, und angesichts eben der aufnahmsgeologischen Neuergebnisse in manchen ohne dreidimensionale tektonische Analyse kartierten Gebieten ist folgendes zu betonen:

Es ist für bautechnische und ebenso für lagerstättenkundliche Aufgaben öfters ein Glück, wenn sie sich in einem Bereiche mit modern analysiertem Bau zu bewegen haben; also noch ganz abgesehen z. B. von gefügekundlicher Analyse am nutzbaren Körper einer Lagerstätte selbst.

Die Einfügung des Aufsatzes in den vorliegenden Festband möchte als Anerkennung der in Innsbruck seit vielen Jahren bestehenden Arbeitsteilung innerhalb der geologischen Fächer weiteren Kreises dienen und zugleich meine Würdigung der geologischen Kartierungen bezeugen, welche mein Freund KLEBELSBERG so vielfach gefördert hat und welche sehr oft, wie z. B. im Falle der Rhythmitgefüge in Südtirol, eine Vorbedingung für gefügekundliche Studien waren.

Gefügekunde ist die Befassung mit sämtlichen Raumdaten im Inneren eines interessierenden Bereiches und mit deren Zusammenhängen untereinander. Die Größe der Bereiche reicht heute von der Größenordnung mm^2 (Röntgen) über cm^2 (Dünnschliffe), Handstück, Aufschluß bis in Profil und Karte. Die heute vorliegenden Arbeiten befassen sich demnach mit

allen genannten Bereichen, nicht getrennt voneinander, sondern mit allen Beziehungen der Bereiche und der Raumdaten aufeinander, was geradezu das Wesen der Gefügekunde ausmacht. Aber, wie es die Darstellung L. 7 in zwei Bänden übersichtlich macht, läßt sich die Untersuchung der Korngefüge von der Untersuchung der größeren Bereiche unterscheiden. Für den Bauingenieur geht letztere solange voran, als eine ausreichende Bearbeitung der Korngefüge nur von anderen Seiten betrieben wird.

Für die arbeitstechnischen Grundlagen, für die zweckfreien Fragestellungen der Gefügekunde in sich, ferner für die Beziehungen zu geologischen und petrographischen Fragen und für alle dem Bauingenieur nur gelegentlich begegnenden Kapitel der angewandten Gefügekunde, z. B. montangeologische u. a., wird hier auf das Schrifttum verwiesen. Die Anwendung für den Baugeologen wird begrenzt auf Gebiete, für welche heute nicht nur Gutachten, sondern Publikationen vorliegen. Kurzgefaßte praktische Beispiele sollen dem Bauingenieur ein Urteil ermöglichen über die derzeit möglichen gefügeanalytischen Beiträge für seine Fragen, über den Arbeitsaufwand und über die Kritik, welcher auch die Theorie namentlich anisotroper geologischer Körper begegnen kann, wenn diese Anisotropie nicht gefügeanalytisch erfaßt ist.

Außer den Grundlagen in L. 7 mit der dort angeführten Literatur ist für Bauingenieure zu verweisen auf L. 17, L. 12. Die amerikanische Literatur gibt Grundlagen, wendet sich aber bisher nicht an den Bauingenieur, sondern an den Geologen und Petrologen der mechanisch geformten und der metamorphen Gesteine (L. 6, 9).

Für den geschulten Korngefügeanalytiker läßt sich die analytische Arbeit am Bereiche, welcher für einen technischen Angriff (Belastung, Aushub) charakterisiert werden soll, kurz und einfach kennzeichnen: Ein Bereich von der Größenordnung des technischen Angriffes wird mit allen seinen Gefügedaten (Korngefüge bis Großgefüge) als interessierender geologischer Körper betrachtet und in bezug auf alle seine Gefügedaten so behandelt wie das Korngefüge in der „Achsenverteilungsanalyse“, also statistisch, nach homogenen Bereichen geordnet in bezug auf Ortslage und Drehlage aller interessierenden Raumdaten.

Unter „allen Gefügedaten“ sind hiebei außer dem Korngefüge verstanden alle linearen und flächigen Parallelgefüge, sowie deren zusammengehörige und auf symmetrische Formungsvorgänge bezogene Systeme, wie man sie in der Gefügekunde L. 7 gekennzeichnet findet. Die Beziehbarkeit dieser Gefügedaten auf erzeugende Vorgänge (mechanische Formungsvorgänge usw.) ist vor allem eine symmetriologische. Die Homogenität der Bereiche in bezug auf solche Symmetrietypen umfaßt sehr oft größere Bereiche als die Homogenität in bezug auf die Häufungen einzelner statistisch

auf der Lagenkugel eingemessener gleichwertiger Flächen und Linearen. Dies alles entspricht übrigens zum Beispiel der Abbildung der Symmetrieformender Kräftesysteme des Experiments in dem durch diese Kräfte gebildeten Gefüge. Dies ist, die symmetrologische Theorie bestätigend, durch die amerikanische experimentelle Gefügekunde an Korngefügen aufgezeigt (E. B. KNOFF, TURNER, GRIGGS).

Bei inneren und äußeren Anschnitten eines anisotropen geologischen Körpers in technisch bereits vorgeschriebener oder noch zu planender Lage läßt sich die statistisch gekennzeichnete Anisotropie durch die Lagenkugelprojektion in klare Beziehung setzen zum Ausmaß und zur Drehlage des Anschnittes. Auch skalare richtungsunabhängige Daten im isotropen und anisotropen Gefüge des geologischen Körpers liefert die statistische Analyse objektiv und bezogen auf Homogenitätsbereiche, und damit eine geordnete Darstellung der Homogenität in bezug auf solche Daten. Hierzu ist auch zu beachten L. 16, 18, 19, 20 und der Schluß dieses Aufsatzes.

Zu erwarten sind von der statistischen Darstellung des Gefüges präzise und objektive Grundlagen für Voraussagen betreffend den technischen Vorgang beim Aushub: Vorteile und Schwierigkeiten bei der Arbeit, Notwendigkeit von Ausbau, Möglichkeit von Bausteingewinnung, Kalkulation der Baugeschwindigkeit, gefügeabhängiger Gebirgsdruck, Wegsamkeit für Wassereintritte und -verluste, anisotrope Leitfähigkeit für Wärme in tief liegendem Anschnitten und für die Leitung von Erschütterungen bei Herstellung und dauernder Benützung des Aushubs. Kurz es gibt kaum einen technisch interessierenden Vorgang, dessen objektive Beurteilung durch die statistische Gefügedarstellung dem Bauingenieur nicht erleichtert wird, sei es, daß es sich um Aushub, Ausbau von inneren Anschnitten, um Belastungen beim Bau oder um die Voraussage des künftigen Verhaltens handelt, was Festigkeit, Durchlässigkeit und Leitung betrifft.

Der interessierende geologische Körper ist der Bereich, dessen Verhalten als Ganzes den Ingenieur interessiert. Läge zum Beispiel ein Gneis vor, innerhalb von welchem ein Bereich von 10.000 m^3 für einen Aushub von 500 m^3 interessiert, so ist der interessierende geologische Körper nicht nur durch die Anisotropie und Inhomogenität im Handstück dieses Gneises gekennzeichnet, sondern außerdem durch alle innerhalb der 10.000 m^3 auftretenden flächigen und linearen Parallelgefüge und Inhomogenitäten. Die Gefügeanalyse ist also weder theoretisch noch praktisch auf bestimmte Größenordnungen der betrachteten Bereiche beschränkt oder auf bestimmte Stoffe. Sie betrachtet die Gefügeelemente des interessierenden Bereiches geologischer Körper vom Gefügekorn bis zu den größten im Bereich noch interessierenden Elementen (z. B. Scherungskörper nach Größe, Gestalt, Ortslage, Drehlage) und analysiert deren Zuordenbarkeit zueinander oder deren

Unabhängigkeit voneinander. Dies gilt besonders auch von den systematisch definierten Systemen offener oder nicht offener Fugen, z. B. offene Fugen mit oder ohne Verschiebung parallel zur Fuge, lineare und flächige „Schieferungen“ usw.

Eine gefügeanalytische Darstellung nach dem heutigen theoretischen und praktisch angewandten Stande dieser Arbeitsrichtung ergibt für den technisch interessierenden Bereich (Steinbruch, Bergbau, Straßenbau, Bau von Kavernen, Stollen und Tunnels; belasteter Baugrund usw.) die vollständigste heute mögliche, räumlich eindeutige Beschreibung der Homogenitäts- und Anisotropieverhältnisse, rein beschreibend und beziehbar auf das technische Verhalten; letzteres namentlich durch die symmetrologische Diskussion.

Auf der zum Bereich eindeutig orientierten Lagenkugel bzw. auf ihrer flächentreuen Projektion (Lambert'sche Projektion) werden Ebenen durch Großkreise (Schnitt der Ebene mit der Kugel) oder durch die Durchstoßpunkte ihrer Lote auf der Kugel dargestellt. Gerade sind gegeben durch ihre Durchstoßpunkte auf der Kugel. Die Streuung dieser Daten, die Gestalt und Besetzungsdichte der Häufungen sowie die Schwerpunkte dieser Häufungen werden durch statistische Auszählung der Felder gleicher Besetzungsdichte (mit definierter Streuung) auf der eben deshalb 1925 von Walter SCHMIDT gewählten flächentreuen Projektion dem jeweiligen Bedarf entsprechend statistisch ausgezählt und umgrenzt. Dies wird getrennt für solche Teilbereiche ausgeführt, innerhalb welcher die interessierenden Daten D eine Streuung nicht überschreiten, bei welcher man den Teilbereich als homogen in bezug auf D betrachtet. Es besteht z. B. ein interessierender inhomogener Großbereich auf der Lagenkugel aus Teilbereichen von statistisch definierter Homogenität in bezug auf Gerade oder Ebenen, welche für das Festigkeitsverhalten oder für die Wegsamkeit für Wasser, kurz in irgend einem technischen Zusammenhange interessieren. Es ist bis jetzt unter zahlreichen bearbeiteten Fällen keiner begegnet, in welchen nicht auch die Zusammengehörigkeit (im Bereiche) sehr unübersichtlicher Daten durch ein gemeinsames Häufungsfeld im statistisch ausgezählten Diagramm objektiv ersichtlich und beurteilbar geworden wäre.

Die gefügeanalytische Arbeit setzt also an Stelle mehr oder weniger unübersichtlicher und subjektiver Eindrücke die objektivste und übersichtlichste Darstellung von Drehlage und Verteilung aller Daten, über deren technische Bedeutung und damit über den zulässigen Arbeitsaufwand jeweils vom Ingenieur geurteilt werden muß. Der Arbeitsaufwand ist meist weit geringer, als er angesichts des dem Techniker heute vielfach noch neuen Verfahrens von diesem geschätzt wird. Der Ingenieur entscheidet fallweise darüber, ob er für seinen Fall auf eine moderne Gefügeanalyse verzichten kann, aber nicht darüber, daß diese heute die objektive, quantitative Er-

fassung aller gefügebedingten Verhältnisse im Baubereiche ist. Zur Föhlung mit der bautechnisch interessierenden Gefügeanalyse kommt man heute durch einen begrenzten Teil der allgemeinen, für viel weitere Zusammenhänge ausgebauten und dargestellten allgemeinen Grundlagen (L. 7) und durch Föhlungnahme mit bearbeiteten Einzelfällen. Von solchen führe ich hier als Beispiel an meine Analyse des Bereiches für einen geplanten Kavernenbau (Ötztal, Tirol, Versuchsstollen und Obertagsaufschlüsse). Andere Fälle wurden seither mehrfach bearbeitet und zum geringen Teil publiziert, z. B. L. 12, 10, 13, 14, 15. Mein Gutachten wurde ausgeführt für die Westtiroler Studiengesellschaft und ich verdanke Herrn Prof. Dr. G. MARKT auch die Genehmigung zur Wiedergabe der drei Diagramme.

Arbeitsgang einer gefügekundlichen Begutachtung (B. SANDER. Ötztal/Tirol 1950).

Der technisch interessierende geologische Körper ist ein pegmatitisierter Feldspatknottengneis mit vorkristallinem planarem und linearem Gefüge und weitgehender nachkristalliner Bildung von Fugensystemen.

Die von der Kristallisation überdauerete flächige (s) und lineare (B) Schieferung bedingt die Festigkeitsanisotropie der aus dem geologischen Körper entnommenen unzersicherten Handstücke, nicht aber das Festigkeitsverhalten des geologischen Körpers (= zerklüftetes Gestein) im technisch interessierenden Bereich.

Die zuweilen nachkristallin ausgearbeitete flächige und lineare Schieferung und die Klüftung \perp B des Korngefüges bilden die dem Korngefüge zugeordnete Gruppe der im Festigkeitsverhalten des interessierenden Bereiches wirksamen Anisotropien. Diese Gruppe I wurde durch die Beschreibung des Korngefüges und dessen Orientierung auf der Lagenkugel statistisch erfaßt.

Die Gruppe II umfaßt alle anderen nachkristallinen Fugen und deren Schnittgerade (Kanten). Die statistischen Häufungen der Daten von Gruppe II und ihre Konfrontation mit der Gruppe I ergab im vorliegenden Fall objektiv die Unabhängigkeit der Gruppe II von Gruppe I und die weit größere Bedeutung der Gruppe II für das anisotrope Verhalten (Festigkeit, Wegsamkeit für Wasser) des geologischen Körpers. Beide Gruppen zusammen — aber getrennt eingemessen — ergaben das restlose statistisch objektive Bild aller Gefügedaten vom Korngefüge bis zum Großgefüge des für den Aushub interessierenden Bereiches und zugleich die Möglichkeit, diesen Bereich in die Tektonik des weiteren Gebietes sicher einzuordnen und die Frage zu beantworten nach der Beteiligung von Bewegungen nach Beginn der Reliefbildung (Relieftektonik, Gehägebewegungen).

Der Vergleich der Gefüge im freien Gehänge (136 Messungen, 5 Dia-

gramme) mit den Gefügen im Stollen ergab Übereinstimmung in den statistischen Häufungen, damit das Fehlen reliefbedingter Formungen und damit die Unnotwendigkeit einer Tieferlegung der geplanten Kaverne. Das Relief des Gehänges ist als gefügebedingtes „Gefügerelief“ durch die Diagramme kontrolliert.

Die Frage, für welche Homogenbereiche die einzelnen statistischen Häufungen der Daten auf der Lagenkugel gelten, ist durch Konfrontation der Diagramme für einzelne Stollenabschnitte mit den Übersichtsdiagrammen und durch Distanzmessungen zwischen den Fugen im Stollen objektiv und allen künftigen technischen Anfragen gegenüber beantwortet.

Die Orientierung der Fugen und Kanten (und ihrer statistischen Häufungen) und damit auch der Ablösungskörper (Scherungskörper) nach Gestalt und Drehlage zu jedem projektierten Anschnitt des geologischen Körpers ist durch Eintragung des betreffenden Anschnitts in betreffende Diagramme für den Ort des Anschnitts und durch Rotation des Diagramms auf dem Netz ablesbar. (Beachtung der Bereitschaft zu unblockierter Bewegung parallel zu Kanten bei Reaktivierung der Fugen!)

Verzeichnis der eingemessenen Daten auf der Lagenkugel mit statistischer Auszählung und Ortsangabe im Versuchsstollen, in Einzelbereichen und für das Gesamtgebiet.

1. Die Lote der Schieferung und die B-Achsen im Korngefüge einander durch gleiche Ziffern zugeordnet.

2. Beobachtete und konstruierte Kanten, getrennt nach Kanten von Fuge mit Fuge und von Fuge mit Schieferung. Alle Kanten ohne Trennung.

3. Sämtliche Fugen (Schieferung, Scherfugen, Reißfugen \perp B) als Großkreise mit Notierung von Wasserführung, Verheilung und junger Bewegung \parallel Fuge. Lote dieser Fugen mit Ortsangabe im Versuchsstollen. Aus diesen Diagrammen ist Gestalt, Verteilung und Drehlage der Ablösungskörper ablesbar und für die Teilbereiche des geplanten Aushubs vorauszusagen.

4. Deutlich nachkristalline Fugen getrennt von den anderen.

5. Lote der Fugen unterschieden: Fugen mit nachträglich mylonitisierter Verheilung (jüngste Bewegungen im geologischen Körper); nasse Fugen, Lote der Fugen mit ablesbarem Relativsinn der Verschiebung parallel Fuge.

Es liegt also eine restlose statistische Darstellung von Ortslage, Drehlage und Verteilung aller Gefügedaten vom Korngefüge bis zum Großgefüge vor. Dieser Arbeitsweg ergibt 1. das für den Begutachter kontrollierbare Ausmaß der geleisteten Beobachtungsarbeit, 2. auch neu auftauchenden Fragen gegenüber eine dem subjektiven Urteil kontrollierbar entzogene objektive Darstellung der Daten. 3. Die quantitative Erfassung der Häufun-

gen von Gefügedaten, auch der ohne statistische Auszählung nicht als „Richtungsgruppe“ erkennbaren.

Die Diskussion der Messungen für einzelne Fragen des vorliegenden Sonderfalles unterbleibt hier, da es sich nur um die Darstellung des Arbeitsweges in einem unpublizierten Gutachten handelt.

Die Abbildungen 1—3 zeigen drei von den 39 Meßdiagrammen.

Abb. 1. Messung zwischen m_{80} und m_{98} im Stollen. Ebene Fugen (Großkreise und ihre Lote) mit Angabe der Metermarken im Stollen, Schieferrung s , beobachtete (\times) und konstruierte (\circ) Kanten; Winkel der Ablösungskörper mit Netz ablesbar; verschiedene Zeichnung der Fugen, bezieht sich auf deren Zustand (Mylonit; Verheilung; neuerliche Bewegung; Wasser).

Abb. 2. Die statistisch ausgezählten Einzelpunkte sind Lote von parallelen Fugenscharen nicht von Einzelfugen, P_1 und P_2 Großkreise, auf welchen die Schwerpunkte der Fugenpole liegen. Lote auf P_1 und auf P_2 sind vielleicht N—S und N 16 E streichenden nachkristallinen B-Achsen zuordenbar. Die übrigen Großkreise zu den Fugenmaxima sind konstruiert.

Abb. 3. Auf ihnen liegen folgerichtig die in Abb. 3 ausgezählten Kanten Fuge \wedge Fuge (Abb. 3). Durch Abb. 2 und 3 ist im technisch interessierenden Bereich für jeden projektierten Schnitt seine Drehlage gegenüber den statistisch vorwaltenden nachkristallinen Fugen und Kanten durch Messung auf dem Netz vorauszusagen, durch Diagramme, wie Abb. 1, gilt dieselbe für alle kleineren homogenen Bereiche.

Derartige Analysen sind in mehrscharig zerklüfteten geologischen Körpern unbedingt nötig, wenn man die Zusammengehörigkeit von Scherflächenpaaren beurteilen, solche Paare auf denselben Formungsakt beziehen und etwa aus dem Scherflächenwinkel auf das Festigkeitsverhalten zur Zeit der Scherflächenbildung schließen soll, was alles ohne genügende Gefügeanalyse keine Grundlage hat.

Arbeitsaufwand (Winter 1949, Sommer 1950): 12 Begehungstage auf Terrain von 1 km² und in Stollen 370 m, 443 Kompaßmessungen, verarbeitet auf 39 Diagrammen (12 statistische). Kontrolle des Korngefüges in (75) orientierten Dünnschliffen. Heimarbeit 103 Stunden; 73 Stunden Assistentenarbeit.

*

Als Beispiel einer anderen, durch Kugelprojektion rasch beantwortbaren häufigen Frage sei aus L. 7 angeführt: Eine isoklinale Schichtfolge $sch_1 + sch_2 + \dots$ soll durch eine Gerade T in beliebiger Richtung durchfahren werden. Die Länge der Wege in sch_1 , sch_2 , usw. und die Orientierung von Ebene Sch zu T ist gesucht.

Gegeben: Planparallele Schichte Sch auf der geologischen Karte, Streichen und Fallen von Sch.

Gefragt: Schnitt von Sch mit beliebiger Vertikalebene M und mit einer beliebigen Geraden T in M. Die Lage von T ist bestimmt durch M und den Fallwinkel von T.

Lösung: Konstruktion des Profilschnittes M (auf mm Papier) aus der geologischen Karte M enthält die Grenzen xx' von Sch im Terrain. Um die Neigung der Grenzen von Sch in M zu finden, zeichnet man auf eine Pause über dem Netz: Großkreis Sch mit Streichen und Fallen und Pol P; T nach Streichen (= M) und Fallen; M schneidet Sch in Punkt P_1 . Die Gerade von P_1 zum Diagrammzentrum O ist die Schnittgerade zwischen Sch und M. Ihr Fallwinkel γ ist auf dem Netz ablesbar. Mit xx' im geologischen Profilschnitt M und mit $\sphericalangle \gamma$ ist im Profilschnitt M sowohl das Schnittbild von Sch bestimmt als dessen Schnitt mit der technisch interessierenden Linie T und mit allen Linien in M. Alle Winkelbeziehungen dieser Linien mit Sch sind aus der Konstruktion vorauszusagen.

*

Der Beitrag, den die Gefügekunde dem Ingenieur heute bieten kann, besteht aus der gestaltlichen Darstellung des technisch interessierenden Bereiches für den theoretisch und für den praktisch rechnenden Techniker. Der erstere wird auf die heute kontrollierbar gemachte gefügeanalytische Darstellung der Anisotropie des geologischen Körpers nicht verzichten, der letztere nur insoweit, als es jeweils seiner praktischen Aufgabe gegenüber zulässig ist, so z. B. wenn er praktisch von einer interessierenden Festigkeit nur einen geringen Bruchteil in Anspruch nimmt, oder wenn es wirtschaftlich zulässig ist, einen Ausbau so stark zu machen, daß die Anisotropie im Festigkeitsverhalten des geologischen Körpers keine Rolle spielt.

Von solchen Fällen, in welchen das Festgestein, abhängig oder unabhängig vom Korngefüge, durch Fugenbildung aufgelockert und diese statistisch beschrieben wird, sind zu unterscheiden die Fälle, in welchen eine Lockermasse als Ausgangszustand statistisch zerfugt wird, oder ein zur Formung korrelates neues Korngefüge erhält, was beides ebenfalls durch die übliche statistische Gefügeanalyse für den Techniker eindeutig auswertbar wird.

Festigkeits-Anisotropie von Gesteinen.

Abbau, Formgebung und Einbau von Werksteinen kann durch gefügeanalytische Grundlagen heute übersichtlich und präzise geplant und ausgeführt werden. Auch für Fragen der Gefährdung beim Abbau gibt die Gefügeanalyse objektive Grundlagen. Was die Prüfung der Baumaterialien betrifft, so bekommt man untereinander vergleichbare Werte nur dadurch, daß die zu vergleichenden Körper mit gleicher Orientierung ihrer Gefügeanisotropie geprüft werden (Belastung; Permeabilität). Dies ist oft nur nach statistischer Gefügeanalyse möglich.

Gefüge aus isometrischen Körnern (z. B. manche Marmore, Aplite usw.) oder aus nicht sichtbar geregelten heterometrischen Körnern (z. B. manche Granite) können ohne Gefügeanalyse isotrop (Scheinisotrope) erscheinen, aber technisch interessierende Festigkeitsanisotropie zeigen, entsprechend ihrem geregelten Korngefüge.

Beispiele mit nur durch Korngefügeanalyse sichtbarer Regelung:

Marmor (L. 11): Druckfestigkeit (Würfel) 1470 kg/cm²—1118 kg/cm²

Differenz durch geregeltes Korngefüge: 352 kg/cm²

Granit (L. 1, 2): Druckfestigkeit (Würfel) 2430 kg/cm²—2090 kg/cm²

Differenz durch geregeltes Korngefüge: 340 kg/cm²

Hiezu ist auch zu beachten, daß bei schwach anisotropen oder isotropen Gefügen aus heterometrischen Körnern der Schnitteffekt (L. 16) bei Einmessung der Körner im Schliff eine Anisotropie vortäuschen kann.

Druckmessungen in geologischen Körpern.

Wo der Ingenieur heute darangeht, in Hohlräumen Druck und Verformung zu messen, soll diesem Verfahren eine moderne Kennzeichnung der im interessierenden Bereiche wirksamen Anisotropie vorangehen. Diese Anisotropie ist durch die übliche Einmessung aller flächigen und linearen Parallelgefüge (Scherklüfte, Reißklüfte, Korngefügedaten) zu kennzeichnen. Sie ist für die interessierenden Bereiche größerer Aushebungen höchst selten allein durch das Korngefüge im Handstück und durch das anisotrope Festigkeitsverhalten des homogenen Handstücks gekennzeichnet. Die erwähnte vollständige Messung ist (mit Beachtung von L. 16, 19, 20) notwendig:

1. für die eindeutige Orientierung \perp B eines Hohlzylinders, in welchem Messungen des Festigkeitsverhaltens stattfinden sollen,

2. für die Dimensionierung dieses Zylinders.

Wird das Gesagte nicht beachtet, so können solche Messungen „des Gebirgsdruckes“ ebenso unvergleichbar und mehrdeutig sein wie die Messungen des Festigkeitsverhaltens anisotroper Gesteine ohne Orientierung der angesetzten Außenkräfte zur Anisotropie des Probestückes.

Ein zweites Beispiel für die Fälle, in welchen die Anwendung theoretischer Analysen des Festigkeitsverhaltens irreführt, wenn nicht eine moderne Gefügeanalyse vorhergeht, ist gegeben, wenn aus dem Winkel zweier sich kreuzender Fugensysteme $f_1 \wedge f_2 = 2\alpha$ auf das Festigkeitsverhalten des Bereiches zur Zeit der Fugenbildung geschlossen wird, ohne daß der Charakter von f_1 und f_2 als Scherflächen gleichzeitiger Entstehung und entsprechender Relativverschiebung \perp zur Schnittgeraden zwischen f_1 und f_2 gefügeanalytisch gesichert ist.

Die Wahl von diesen Bedingungen entsprechenden Paaren in einem zerfugten geologischen Körper und die Sicherstellung ihrer Beziehbarkeit auf

einen theoretisch diskutierten Formungsakt ist nur mit gefügekundlichen Mitteln möglich. Andernfalls werden, wie im Schrifttum ersichtlich, Fugenpaare und Winkel gewählt, welche möglicherweise gar nicht im Sinne der theoretischen Erörterung zusammengehören, so daß das Ergebnis auch einer guten rechnerischen Behandlung des Falles nicht brauchbar ist. Wenn nämlich diese Behandlung darauf beruht, daß der $f_1 \wedge f_2 = \sphericalangle 2\alpha$ erzeugende Druck als Symmetrale zwischen f_1 und f_2 auf deren Schnittgeraden senkrecht steht und ebenso die Relativverschiebungen in f_1 und in f_2 .

**Aufgabe der Gefügeanalyse geologischer Körper mit gradweiser Auflockerung.
(Fester Fels \rightarrow Lockermasse.)**

Dem gefügemessenden Geologen ist bekannt, daß ein geologischer Körper mit einem definierten Gefüge dieses sehr lange statistisch noch erkennbar und überprüfbar beibehält auf dem Wege von seinem Ausgangszustand (z. B. „fester Fels“) bis zu einem aufgelockerten geologischen Körper mit gänzlich anderem Gefüge. Die statistische Gefügeanalyse macht die Streuung der Gefügedaten auf jenem Wege kontrollierbar und gibt eine objektivere Kennzeichnung des interessierenden begegneten Zustandes als etwa Fassungen wie „anstehend“, „nicht anstehend“, „im Gehänge verlagert“, „aufgelockert“ u. a. Dies gilt z. B., was die Voraussicht des Verhaltens bei Belastung (anstehend oder nicht), die Voraussicht zu erwartender Bewegungen im interessierenden Bereich und die Voraussicht gerichteter Wegsamkeit für Druckwasser anlangt.

Auf diesem erwähnten Wege vom „festen“ geologischen Körper (mit der ihm heute zugeordneten Kalkulation seines technischen Verhaltens) bis zur Lockermasse mit der diesem Zustande zugeordneten Kalkulation seines Verhaltens finden sich die erwähnten Übergänge, für welche die rechnende Analyse des technischen Verhaltens einen Weg zwischen jenen beiden Theorien sucht.

Für den Ausbau eines Kalküls, für das Verhalten solcher geologischer Körper zwischen „festem Fels“ und Lockermasse bis Boden, sowie für die kritische Auswertung der hergehörigen Experimente ist die Kennzeichnung des Gefüges mit den gefügeanalytischen Mitteln und bei besonderer Beachtung von Anisotropie und Symmetrie ebenso aussichtsvoll wie für den Weiterbau des Kalküls für „festen“ Baugrund und für Böden.

Kontrollen am Baugrund.

Eine vollständige gefügekundliche Messung der Anisotropie bis Isotropie (Tropie) und der Inhomogenität (Genität), in beiden Fällen streng definiert und bezogen auf Teilgefüge, ergibt folgende objektive sichere Entscheidungen für den Bauingenieur:

1. Unterscheidung von „Anstehend“ und „Nichtanstehend“,

2. Kontrolle von Bewegungen im Gebänge nach Anschnitt,

3. Unterscheidung der Fugen im geologischen Körper, welche vor der Reliefbildung ohne Beziehbarkeit auf das Relief entstanden sind, und der Fugen, welche durch Bewegungen während oder nach der Reliefbildung entstanden sind, also mit Beziehbarkeit zum Relief („Relieftektonik“).

Was die Kontrolle von Schnee und Eis als Baugrund betrifft, so gibt es keinen anderen Weg, deren technisch interessierendes Verhalten einer gestaltlich unterscheidbaren Schnee- und Eisart zuzuordnen, als deren Korngefügeanalytische Kennzeichnung; da es sich ja um ein monomineralisches Gefüge handelt. Ein Beispiel einer modernen Korngefügeanalyse von Gletschereis (innerhalb der in den reviews von Sharp [glacier flow] und Black [permafrost] Bull. Geolog. Soc. Am. 1954 gesammelten Literatur) wurde gegeben von W. SCHWARZACHER und UNTERSTEINER: Zum Problem der Bänderung des Gletschereises. Sitzber. Österr. Akad. d. Wiss., math.-nat. Klasse, 1953.

Formungsexperimente.

Auf die rein materialphysikalischen Gesichtspunkte für Korngefügeanalysen und auf die Arbeiten der experimentellen Korngefügekunde (E. B. KNOPF, TURNER, GRIGGS) kann hier nur hingedeutet werden. Ganz allgemein sind im Sinne der Gefügekunde bei der Formung eines Körpers einige Punkte zu beobachten:

1. Die Formung beginnt im allgemeinen schon mit der Änderung eines Teilgefüge. Was die Versuche beschreiben, ist nicht das Verhalten eines isotropen Körpers, sondern das Verhalten eines sehr bald schon anisotropisierten Gefüges bei symmetriekonstanter Formung. Würde man die Formung nicht symmetriekonstant weiterführen, sondern die Drehlage des Körpers gegenüber den formenden Kräften derart ändern, daß die Symmetriekonstanz verlorengeht, so würde man andere Ergebnisse erhalten. Dem formenden Vektorensystem V_s , das seine Symmetrie nach einem allgemeinen Prinzip (L. 7) auf das Gefüge überträgt (G_s), stünde nach Verdrehung dieses Gefüges ein anisotroper Körper G_s gegenüber, dessen Symmetrieelemente nicht mehr mit denen von V_s übereinstimmen. Es wird also diesfalls der anisotrope Körper G_s in einer zu definierenden Drehlage von V_s „nicht symmetriekonstant“ deformiert. Welche Rolle dieser in materialphysikalischen Untersuchungen und bei geologischer Verformung grundsätzlich zu beachtende Umstand — Anisotropisierung bei nichtsymmetriekonstanter Formung*) — in anderen technischen Zusammenhängen spielt, wird hier nicht erörtert; er ist aber im Auge zu behalten.

*) Eine nicht symmetriekonstante Rollfalte, welcher demnach keine Symmetrieebene \perp Faltenachse im Gefüge entspricht, läßt sich demonstrieren, indem man ein Blatt Papier zu einer Biegefalte biegt und diese auf einer Unterlage abrollt, ungleich schnell am rechten und linken Achsenende der Falte.

Dies gilt besonders hinsichtlich der Forderung, daß das Festigkeitsverhalten untersucht werden soll, nachdem der Ausgangszustand des zu formenden Körpers mit allen heutigen gefügeanalytischen Mitteln in seiner Tropie T (Isotropie—Anisotropie aller Teilgefüge) gekennzeichnet ist und indem die Drehlage von T gegenüber den formenden Kräften evidentgehalten wird.

2. An Stelle einer nicht geprüften Annahme, daß die mechanische Formung von manchen Gefügen aus hochteildbeweglichen Körnern „homogen“ erfolgt, ist die Prüfung durch Achsenverteilungsanalyse L. 7 zu setzen, wie eben solche Analysen (an Kalzitgefüge!) lehren.

Schnitteffekt, Kugelschnitt und Gefüge.

Im Schrifttum L. 16 ist der Fehler behandelt, welcher entsteht, wenn ein Gefüge mit heterometrischen Gefügeelementen durch eine Ebene geschnitten wird. Im ebenen Schnitt durch das Gefüge kommen nicht alle Drehlagen des heterometrischen Gefügeelementes in einer ihrer statistischen Vertretung im Gefüge entsprechenden Weise zu Worte, was für alle heterometrischen (flächigen, linearen) Gefügeelemente gilt, also z. B. für Klüfte ganz ebenso wie für Glimmerplättchen usw. Dies ist auch vom Bauingenieur zu beachten, wenn ihm ebene Anschnitte vorliegen. Ebenso ist zu beachten, daß ein zylindrischer Aushub (Bohrloch usw.) trügerische Auslesen mit sich bringt.

Im Schrifttum L. 19 und ausführlicher in L. 20 ist erörtert, in welcher Weise der Kugelschnitt durch das Gefüge diesen Fehler ausschaltet und was er leistet für die Wahrnehmung der Gestalt, Drehlage und Verteilung heterometrischer Gefügeelemente. Die für kleinere Bereiche leicht herstellbaren Kugelschliffe kommen für größere Bereiche nicht in Frage. Aber für kleinere Bereiche sind Kugelschliffe zu empfehlen, also wo es sich um Materialprüfung handelt und um Mikroluftsysteme, wie sie sehr oft das anisotrope technologische Verhalten mitbestimmen. Näheres findet sich in dem zitierten Schrifttum.

Bei der Schriftleitung eingelangt im Mai 1956.

Schrifttum, zeitlich gereiht:

Allgemeines zur Einführung: 2, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20.
Spezielles: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12, 13, 14, 15.

1. Sander B., Felkel E., Drescher F. K.: Festigkeit und Gefügeregel am Beispiel eines Marmors. — N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd., Abt. A, 1929.
2. Sander, B.: Gefügekunde der Gesteine. — Wien bei Springer 1930.
3. Holler, K.: Über die Abhängigkeit der technologischen Gesteinseigenschaften von der Gefügeregelung. — Mittlg. aus dem Institut für Geologie und technische Gesteinskunde der Techn. Hochschule Darmstadt; Zeitschr. d. Deutschen Geolog. Gesellschaft 1935.
- 4) Bell, J. F.: Festigkeit und Gefügeregel am Beispiel eines Granits. — N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. Abt. A, 1936.

5. — The Investigation of the cleavage of granites. — *Economic Geology*, Vol. XXXI, Nr. 3, 1936.
6. Knopf, E. B. und Ingerson, Earl: Structural petrology. — *Geol. Soc. Am. Memoir* 6, 1938.
7. Sander, B.: Einführung in die Gefügekunde geologischer Körper I und II. — Wien bei Springer 1948/50; Literaturangaben bis 1950.
8. Turner, F. J.: Mineralogical and structural evolution of the metamorphic rocks. — *Geol. Soc. Am. Memoir* 30, 1948.
9. Fairbairn, H. W.: Structural Petrology of deformed Rocks, with suppl. chapters by F. Chayes. — Cambridge Mass Addison-Wesley 1949.
10. Reithofer, O.: Geologische Beschreibung des Druckstollens Vailüta Vermunt. — *Jahrb. der Geol. B.-A. Wien*, Festband 1951.
11. Sander, B.: Applicazioni e problemi più recenti della petrografia strutturale. — *Acta Geol. Alpina*, Bologna 1952.
12. Karl, F.: Ein Beispiel für Anwendung gefügeanalytischer Arbeitsmethoden in der Baugeologie. — *Geologie und Bauwesen*, Springer, Wien 1954.
13. Reithofer, O.: Über Flächen- und Achsengefüge in den Triebwasserstollen des Rodundwerkes (Montafon). — *Tschermaks Min.-Petr. Mitt.* 1954, S. 90.
14. — Über Flächen- und Achsengefüge in den Triebwasserstollen der Silvretta-gruppe. — *Jahrb. Geol. B.-A.*, Wien 1954.
15. Sander, Walter: Flächen- und Achsengefüge in den Pampinen Sierren (Sierra Tucuman, Sierra Córdoba, Argentinien). — *Tschermaks Min.-Petr. Mitt.* 1954.
16. Sander, B., mit Kastler und Ladurner: Zur Korrektur des Schnitoeffektes in Gefügediagrammen heterometrischer Körner. — *Sitzungsber. Österr. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Klasse* 1954.
17. Hoenes Dieter: Mikroskopische Grundlagen der technischen Gesteinskunde. — *Handbuch d. Mikroskopie in der Technik*. Umschau-Verlag Frankfurt a. M. 1955, IV, S. 59—196; Anwendungen der Gefügeanalyse auf den Gebieten der technischen Gesteinskunde und Ingenieurgeologie, S. 181 ff.
18. Kaemmel, Thomas: Über einige Merkmale isotroper, fast isotroper und scheinbar isotroper Gefüge. — *Zeitschr. Geologie*, Berlin 1955.
19. Sander, B.: Vorläufige Mitteilung zur Typisierung von Korngestalten aus ihren Schnitten im Kugelschnitt durch das Gefüge. — *Anzeiger der Österr. Akad. d. Wiss.* 1955.
20. Sander, B.: Zur Bestimmung symmetrologischer Typen der Gefügeslemente im Kugelschnitt durch das Gefüge. — *Tschermaks Min. u. Petr. Mitt.*, Wien 1956.

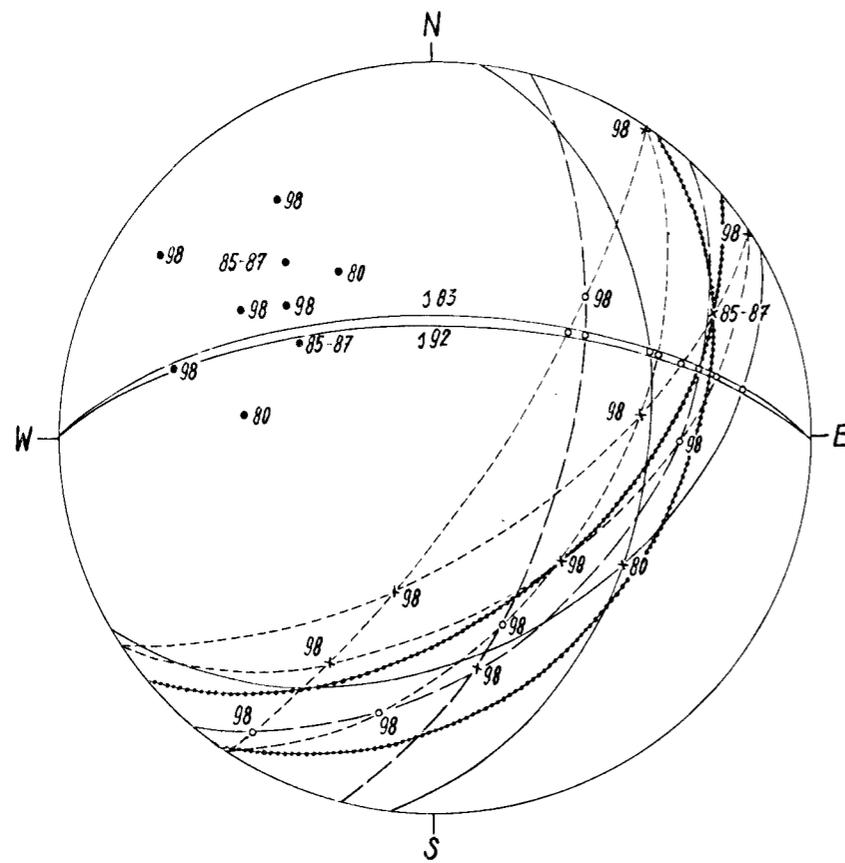


Abb. 1

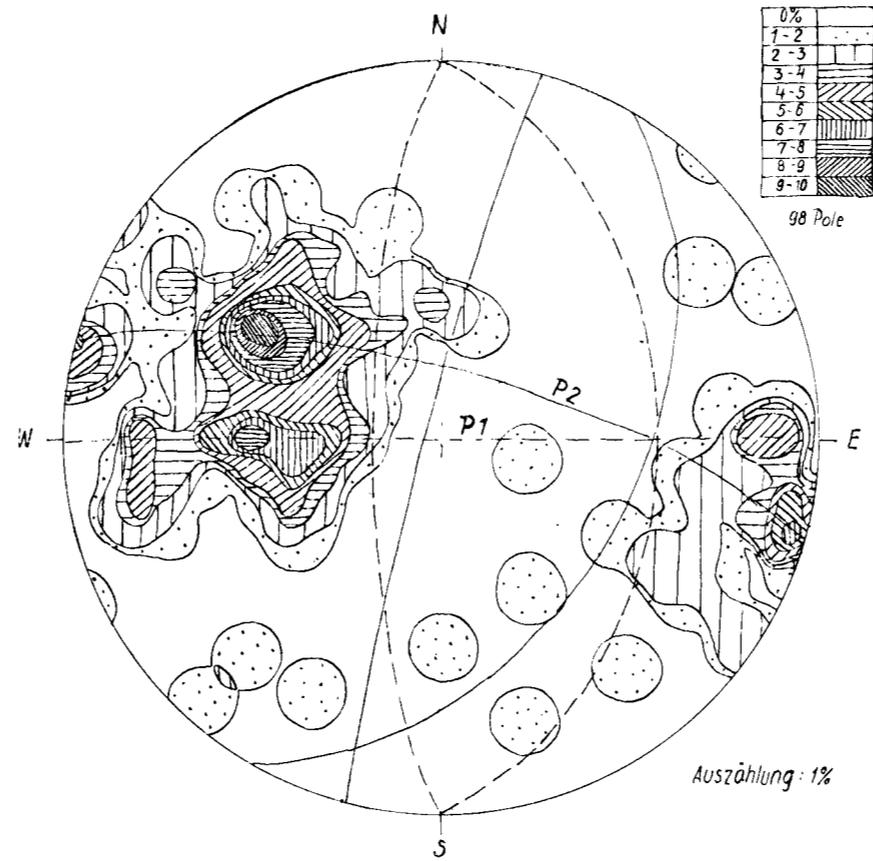


Abb. 2

Lote der nachkristallinen Fugen im Gesamtgebiet (gemessen im NS-Stollen, WE-Stollen, und N 35° W-Stollen).

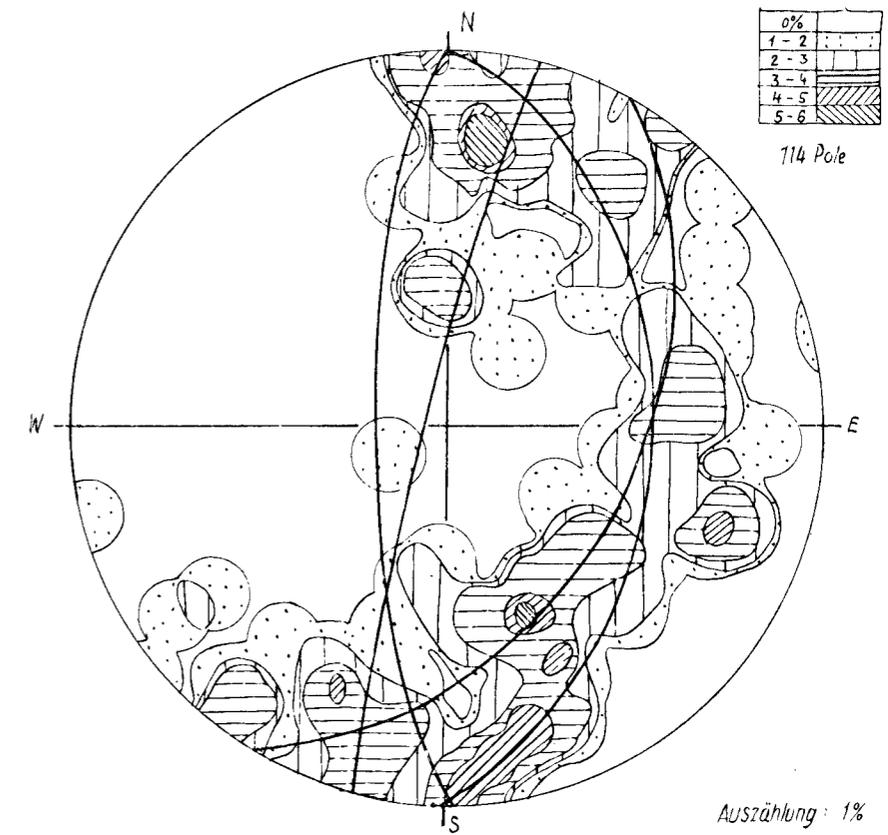


Abb. 3

Kanten Fuge \wedge Fuge, Gesamtgebiet, vergleiche mit Abb. 2