

## Geologische Nachlese.

Von

**Albert Heim.**

---

Nr. 12.

Gneissfältelung in alpinem Centralmassiv, ein Beitrag zur Kenntniss der Stauungsmetamorphose.

(Hiezu Tafel VIII und IX.)

In dem alten Streit über die Natur und besonders die Entstehung der alpinen Centralmassive und damit der Alpen überhaupt hatte in den Jahren 1850—1880 stets die in der nördlicheren Zone (Aiguilles rouges, Aar-, Gotthard-, Silvretta-Massiv) so häufige „diskordante Auflagerung der Sedimente auf den krystallinen Silicatgesteinen“ eine massgebende Bedeutung. Die erste Deutung, die auch heute noch wenigstens teilweise von einzelnen Beobachtern festgehalten wird, ging darauf hin, dass die krystallinen Schiefer vor Ablagerung der jüngern Sedimente aufgerichtet worden seien. Studer lehnte sich ganz an die Fälle der diskordanten Berührung an und hielt die Schieferung aller Centralmassivgesteine für Erstarrungstextur einer aktiven Eruptivmasse. Favre ging umgekehrt von den Stellen aus, wo Sedimente und krystalline Schiefer sich konkordant berührten und schenkte den Diskordanzen zu wenig Betrachtung. Aber immer blieb für den Beobachter die einförmige Schieferung in den Centralmassiven in einem auffallenden Gegensatz zu der wechsellvollen Faltung der aufliegenden Sedimente. Bei näherer Prüfung schien mir der Gegensatz sich aufzulösen. Ich konnte nachweisen, dass ein grosser Teil der Centralmassivgesteine auch Sedimente sind, dass manche Sedimente (Carbon, Verrucano, sogar Trias und Jura) gelegentlich ganz centralmassivisch gestellt zwischen die Gneisse eingeklemmt und nahe daneben wieder gefaltet obenaufliegen, und dass umgekehrt

die Gneisse oft unter der Sedimentdecke umbiegend dieser sich konkordant anschmiegen, dass oft Reibungsbreccien und gegenseitige Ineinanderknetungen, gegenseitige Einschlüsse, Rutschflächen, Verschiebungen, Dislokationsbreccien etc. den „mechanischen“ Kontakt begleiten, ich fand endlich auch Stellen, wo die Gneisse von steilem Clivage durchsetzt horizontal unter den Sedimenten scharf gefältelt hinziehen (Scheidnössli, „Mechanismus der Gebirgsbildung“, Bd. II Abschnitt Centralmassive). Baltzer deutete den Kontakt zwischen Sedimenten und Centralmassivgesteinen ebenfalls als einen mechanischen und fügte die wichtige neue Beobachtung hinzu, dass hie und da die Schieferung der Centralmassivgesteine als Clivage sich quer zur Schichtung in die Sedimente hinein fortsetzt. Ich will hier die vielen weiteren Beobachtungen, die überdies die Gewissheit ergeben, dass die Centralmassive Faltungszonen, d. h. Zusammenschubwirkung im Alpenkörper sind, nur andeuten: Centralmassive gabeln sich an ihren Enden und werden dort in den einzelnen Gabeln abgelöst von Falten der sedimentären Rinde, Sedimentbrücken auf Centralmassiven sind intensiv gefaltet, die Mulden solcher Brücken sind als spitze Mulden tief in die Centralmassive hinab eingeklemmt, die Centralmassivgesteine zeigen bei näherer Prüfung meistens die Spuren intensiver Quetschung (Dynamometamorphosen) etc. etc.

Auch innerhalb der Sedimente von sicher bestimmbar Alter ist der Fall nicht selten, dass zwischen ursprünglich parallel gelagerten Schichten durch ungleiches Ausweichen auf den Gebirgsschub eine Diskordanz (Dislokationsdiskordanz im Gegensatz zu Transgressions-Diskordanz) entsteht.

Dies alles führte zur Erkenntnis, dass die einförmige Schieferung der Centralmassive das Resultat der seitlichen Pressung ist und dass sie strichweise liegt wie die ältere Schichtung oder Plattung, strichweise diese letztere verwischt und durchschneidet. Es giebt keine absolute Grenze im Verhalten der Sedimente und der krystallinen Gesteine. In den oberen Rindenlagen der Erde war die nach oben ausweichende Faltung und Ueberfaltung das gewöhnlichere, in den tieferen, mehr belasteten beherrscht die Transversalschieferung mehr und mehr das Bild und verwischt mehr und mehr den Verlauf der ursprünglichen Schichtung und damit das Bild der Faltung. Für denjenigen, der ein tiefer durch-

gebildetes Gefühl für die Gesteinsmechanik sich erworben hat, ist es nun allmählich auch immer klarer geworden, dass die Aufrichtung der Gneisse etc. in den Centralmassiven und die Faltung der Sedimente bis und mit dem Miocæn ein Werk des gleichen Horizontalschubes der gleichen Zeit ist, und dass wir in den Centralmassiven nur gewissermassen die Tiefenfacies der Faltung, in den jüngeren Sedimentärzonen der Alpen mehr die seichtere Facies der gleichzeitigen und ursächlich gleichen Faltung sehen. Beweise dafür, dass die Aufrichtung und jetzige Transversalschieferung der alpinen Centralmassivgesteine erst nach Eocæn und Oligocæn erfolgt ist, sind leicht in Menge zu finden. Dahin gehört die Einfaltung von Eocæn und Oligocæn in den Randzonen der Centralmassive unter Gewölbekerne von Gneiss etc., die Einklemmung von spitzen Mulden mit eocænem Muldenkern tief in die Centralmassivgesteine hinein, die Ablösung im Streichen von Centralmassiven durch enorme Falten mit völliger Konkordanz von Carbon bis und mit Eocæn, Fehlen von sicher ursprünglichen stärkeren Diskordanztransgressionen von Carbon bis Miocæn, Fehlen der dynamometamorph stark affizierten alpinen Centralmassivgesteine als Gerölle in der miocænen Nagelfluh, während Gerölle von Graniten, Gneissen etc. ohne Stauungsmetamorphose massenhaft darin enthalten sind etc. etc.

Gewiss gibt es auch ausgezeichnete alte Eruptivkontakterscheinungen in den Alpen. Sie sind nur manchmal schwer zu finden und zu deuten, weil die nachträgliche Stauung sie umgeprägt hat. Sie sind häufiger als wir früher dachten. Aber sie erweisen sich in jedem Falle, wo überhaupt der Vorgang des Eruptivkontaktes deutlich aus demjenigen des Dislokationskontaktes herausgeschält werden kann, als älter als die Alpenfaltung, älter als Miocæn.

In den Rahmen dieser Gedankenreihe hinein gehören einige Beobachtungen, welche ich letzten Herbst an den Gneissen des Tessinermassives zu machen Gelegenheit gehabt habe. Es betrifft das einen Fall, wo durch das ganze Gebirge in weiter Ausdehnung die zweiglimmerigen alten Gneisse bei einer oberflächlichen Beobachtung ganz nach Centralmassivart einheitlich und einförmig geplattet und geschiefert erscheinen mit Streichen normal WSW — ENE bis W—E und Fall wenigstens  $30^{\circ}$ , meistens  $40^{\circ}$  bis  $55^{\circ}$  SSE oder S. Eine nähere Prüfung zeigte aber, dass hier die

ursprüngliche Gneissfaserung und Schichtung anders verläuft, nicht einförmig nach Centralmassivart, sondern in grossen und kleinen Falten und Fältchen oft quer zur centralmassivischen Plattung, die sich dadurch als eine Stauschieferung, eine Art Clivage, erweist. Es ist stets ein glücklicher Fall, wenn die alte Struktur und Textur nicht durch die neue verwischt wird, wenn also die Umwandlung noch nicht zu tief gegriffen hat, so dass wir an dem Verlauf der erhaltenen älteren Texturen die Gebirgsfaltung sehen können.

Es giebt vielleicht weite Bergmassen im Gebiete alpiner Centralmassive, wo der Faltenbau trotz des centralmassivischen Clivage zu finden wäre. Aber es ist schwierig, an allen den Wänden herumzuklettern und Schritt für Schritt frisch anzuschlagen und zu suchen, was von weitem nicht erraten und nicht überblickt werden kann.

Wir stehen tief im Innern des gewaltigen tessinischen Gneissmassives bei Faido. Im Wildbachschutt hinter dem Dorfe am Wege nach Morengo treffe ich zahlreiche Blöcke herrlich gefältelter Gneisse, in welchen ganz so wie bei gefältelten Sedimenten oft die verquetschten Mittelschenkel der Falten zu Rutschflächen sich ausbilden, die eine Quer-Plattung des ganzen Gesteines zur Folge haben; die letztere fällt viel mehr in die Augen als die Gneisstextur und deren Fältelung. Hoch oben über Osco, Viggera treffe ich am anstehenden Felsen die gleichen Erscheinungen. Leider ist der Fels so sehr mit Flechten bewachsen, dass man nur am frischen Hammerbruch etwas sieht und zu einem zusammenhängenden Bilde gar nicht gelangen kann. An den Wänden über Freggio und Dazio grande an der Nordseite des Tessin wiederholen sich stets die ähnlichen Erscheinungen. Am besten entblösst, am zusammenhängendsten zu verfolgen und zugleich am zugänglichsten treffen wir die gefalteten und gefältelten Gneisse in der Schlucht unter Dazio grande an der Strasse. Hier konnte ich die beigegebenen Skizzen (Taf. IX, Fig. 1 u. 2) zeichnen, die am ehesten ein Bild von der Erscheinung geben können. Man sieht hier durchweg einheitlich W—E streichend und mit 40 bis 55° S fallend eine ausgezeichnete Plattung, es ist die einheitliche centralmassivische Plattung oder Schieferung der Gneisse, die wir vom Thalgrunde bis an die Gipfel hinauf fast gleichlaufend verfolgen können und die überall in den Verwitterungsformen der Felsen, besonders der Gräte und Gipfel,

so deutlich sichtbar wird. In diesen Plattenfugen liegen die Glimmerschuppen der Fuge parallel, oft scheint der Glimmer gehäuft an den Plattenrändern.

Allein bald zeigt sich, dass diese Plattung nicht überall zugleich eine das ganze Gestein durchsetzende Schieferung ist. Die Platten haben sehr oft gegebene Dicke von  $\frac{1}{2}$ , 1 oder einigen wenigen Centimetern, höchstens einigen Decimetern Mächtigkeit und lassen sich innerhalb dieser Dicke nicht weiter spalten. Auf dem Querbruch erkennt man, dass die Glimmerblättchen und die ganze Gneissfaserung schief, oft völlig quer zur Plattung läuft und sich dann am Rande der Platte gewöhnlich wie die Enden eines S an die Plattenfuge anschmiegt. Betrachtet man auf frischem Querbruch mehrere der Platten in ihrer ursprünglichen Zusammenlage, so sieht man bald, dass feine Fältelung der Gneissfaserung quer über die Platten läuft, ein Fältchen dem andern sich anschmiegend, und dass die Plattenfugen nichts anderes sind, als die Flächen, auf welche sich die gequetschten Mittelschenkel der Fältchenscharen anordnen. Manchmal sieht man sehr schön (Taf. IX, Fig. 3), wie allmählich eine neue Knickung sich mitten in einer sanfteren Falte einstellt, wie daraus bei den unterliegenden Gneissfasern ein verquetschter Mittelschenkel und schliesslich ein zerrissener Mittelschenkel mit Rutschflächen hervorgeht; man sieht dann unmittelbar, wie aus der Summation der Zerreibungen all dieser Mittelschenkel eine Plattenfuge wird, und die Gneisstafel sich dadurch in zwei Platten gespalten hat.

An anderen Stellen treffen wir die Gneissplatten mit den Plattenfugen parallel geflasert. Da sind die Platten weiter spaltbar, da sind überhaupt die Gneissplatten von anderem Charakter, sie sind mehr dicke Bänke, mehr Schichten als Platten, und der Glimmer erscheint an ihren scharfen Fugen weniger gehäuft.

Versuchen wir nun ein einzelnes Gneissfaserbündel durch die ganze Felswand zu verfolgen, so finden wir, dass sich dasselbe mit den zahlreichen kleinen Fältchen einordnet in eine grössere Gewölbefalte. Die Fältelungen sind um so enger gedrängt, je näher sie an der Gewölbeumbiegung liegen, und dann steht auch die Faserung am quersten zur Plattung. Weiter gegen den Schenkel des Gewölbes bildet die Faserung unter vielen Schwan-

kungen einen spitzeren Winkel mit der Plattung, bis sie in die oben beschriebene Parallellage übergeht.

Die Zeichnungen und Photographien Taf. IX, Fig. 1, 2, und Taf. VIII, Fig. 1 mögen dies erläutern\*). Das Bild der Plattung, hervorgehend aus den verquetschten Mittelschenkeln der Fältchen, das wir hier sehen, entspricht aufs genaueste den Erscheinungen, wie wir sie unter dem Mikroskope z. B. in den Quartenschieferlagen am Punteiglasgletscher (Mechanismus der Gebirgsblg. Taf. XV, Fig. 7, 8, 9, Beiträge zur geolog. Karte, Liefg. XXV, Tafel VI, Fig. 1) gesehen haben, wie sie in vielen Faltungshandstücken unserer Sammlung von den verschiedensten Fundstellen zu sehen ist und wie ich sie früher (Mechanismus, 2. Band, Seite 51—56) als Ausweichungsclivage beschrieben habe. Die Gneissplattung in der Schlucht von Dazio grande ist ein grobes Ausweichungsclivage, das eine gefaltete Gneissmasse durchsetzt.

Die Deformationen, welche der Gesteinsmasse durch die Gebirgsstauung zugemutet worden sind, haben sich nicht gleichmässig von Molekul zu Molekul vollzogen, sondern sich allmählich mehr und mehr auf einzelne Schubflächen konzentriert, was die Deformation stets wesentlich erleichtert. Die Deformation des Ganzen bewerkstelligt sich von nun an durch die gegenseitige Verschiebung der Platten. Es erforderte die grössere Anstrengung der Kräfte, erst einmal im Gesteine die Schubflächen zu erzeugen, es geht leichter weiter, sobald sie einmal vorhanden sind. Sie sind nun die gegebenen Auslösungsflächen für alle Spannungen und Bewegungen.

Jede mechanische Pressung sucht immer diejenigen Umänderungen im Gestein zu erzeugen, welche die von ihr gewünschte Deformation am leichtesten gestattet.

Da die verschiedenen Flaserbündel des Gneisses eine ursprünglich etwas wechselnde Beschaffenheit haben, so können wir hier manchmal ganz so wie z. B. bei dem abgebildeten Röthidolomit-Quartenschiefer ein Schichtchen durch mehrere Platten hindurch verfolgen und den Betrag und den Sinn der Verschiebung an den

---

\*) Ich habe eine Anzahl Stücke mit Gneissfaltung zerschneiden und je die eine der Flächen polieren lassen und kann in Tausch oder Kauf einige solche Platten wie Tafel VIII, Fig. 1 abgeben.

Plattenfugen dadurch feststellen. Aus solchen Beobachtungen ergeben sich noch folgende für die aus Fältelung hervorgegangene Transversal-Schieferung oder Plattung bezeichnende Eigentümlichkeiten:

Immer zeigen die Fältchen gegen den Rand der Platte hin eine starke Umkrümmung in dem Sinne, dass sich die ursprüngliche Schichtung oder Flaserung dem Plattenrande oder der Plattenfuge anschmiegt. Das ist so bei jeder grossen Faltenverwerfung oder aus Uebertreibung einer Faltung hervorgegangenen Ueberschiebung. Dies ist das Phänomen, das man auch mit der Schleppung der Schichten an einer Verwerfung vergleichen kann und das z. B. beim Uebergang einer Flexur in eine Verwerfung in allen graduellen Abstufungen sich zeigt. Beim Zerreißen des Mittelschenkels einer Falte wurden eben thatsächlich die abgerissenen Enden der Gewölbeumbiegung und Muldenumbiegung auf der Schubfläche noch „geschleppt“. Wir können diesen Ausdruck auch hier wohl anwenden.

Wie bei den grossen Faltenverwerfungen oder Falten mit zerrissenen Mittelschenkeln, so zeigt sich auch hier, dass man aus der Umkrümmung dieser „Schleppung“ die relative Bewegung der beidseitigen Platten stets erkennen kann. Immer hatte die relative Bewegung diejenige Richtung, nach welcher die konvexe Seite der Schleppungskrümmung schaut, immer findet man die Fortsetzung des abgerissenen Schichtchens in der benachbarten Platte in der Richtung der Konkaven der Schleppungskrümmung, das heisst in der Richtung, nach welcher das geschleppte Schichtchen ausgespitzt, ausgewalzt ist. Die Ausspitzung der geschleppten Schicht weist gegen die abgequetschte Fortsetzung hin. Ausnahmen davon sind sehr selten und offenbar nur dadurch entstanden, dass eine spätere Bewegung anderer Art in entgegengesetztem Sinne zufällig eine solche Plattenfuge einmal benutzt hat.

Damit ist zugleich schon gesagt, dass die Schleppung beidseitig von einer Plattenfuge stets umgekehrte Krümmung, Wechsel im Krümmungssinn, aufweist. Kann man das gleiche Schichtchen in zwei benachbarten Platten erkennen, so sind die Schleppungen in der einen Platte umgekehrt gekrümmt wie in der benachbarten, das Schichtchen macht eine Form wie S und die Platten-

fuge schneidet durch den Punkt des Krümmungswechsels. Es ergeben sich stets Bilder wie Taf. IX, Fig. 4, niemals wie Fig. 5.

Wenn man vergleichend alle die Uebergänge von sanften wellenförmigen unzerrissenen Fältchen bis zu denen mit Plattenverschiebungen durchgeht, so findet man bald die Erklärung für dieses Verhalten. Die Plattenfugen sind eben zerrissene Mittelschenkel. Die Mittelschenkel liegen stets zwischen einer Gewölbeumbiegung und einer Muldenumbiegung. Gewölbebiegung und Muldenbiegung haben aber stets umgekehrten Sinn der Umkrümmung. Da auf der einen Seite der Plattenfuge die Schleppung eine ursprüngliche Gewölbebiegung, auf der andern eine ursprüngliche Muldenbiegung ist, so müssen sie umgekehrte Stellung der Krümmung zeigen und die Plattenfuge muss stets auf eine Fläche des Krümmungswechsels fallen, wie wir dies in der That beobachten.

Bei einer Fältelung entsteht zunächst ein Wechsel von Gewölbeumbiegungen und Muldenumbiegungen. Es kommt nun ganz auf die Umstände an, ob alle oder bloss die abwechselnden Schenkel verquetscht und zu Verschiebungen und Plattenfugen umgewandelt werden. Wir sehen oft nur den einen Fall, oft nur den andern, manchmal beide nebeneinander strichweise abwechselnd, manchmal beide bunt miteinander gemengt. Indem ich dies sage, denke ich freilich nicht nur an den Gneiss von Dazio grande, sondern an noch viele andere Fältelungsvorkommnisse in krystallinen Schieferen wie in Sedimenten, die ich eingehend beobachtet habe und von denen ich zum Teil Stücke in unsere Sammlungen gebracht habe.

Offenbar ist massgebend für die Gestaltung der Verschiebungsflächen die Stellung der zuerst entstandenen Faltungsschenkel zur Richtung des nun noch weiter wirkenden gebirgsstauenden Druckes und zur Richtung, nach welcher hin ein Ausweichen möglich ist, also zur Richtung des geringsten Widerstandes. Eine besondere Komplikation liegt noch darin, dass während der allmählichen Umformung, gerade bedingt durch die fortschreitende Auslösung der Spannungen, oder auch durch äussere Umstände wie ungleicher Verwitterungsabtrag, die Richtung der Pressung und die Richtung des geringsten Widerstandes sich allmählich ändern können. Wir sind noch nicht imstande, die hieraus sich ergebenden Möglichkeiten alle zu übersehen oder im gegebenen Einzelfall die Er-

scheinungen auf Ursache und Wirkung genau zu analysieren. Wir thun aber gut, uns der möglichen enormen Komplikationen bewusst zu bleiben, um der Versuchung zu entgehen, rasch schematisieren zu wollen. Aus den mir bekannten Erscheinungen, sowie aus allerlei Experimenten, die ich früher anzustellen versucht habe, kann ich vorläufig nur an folgendem festhalten:

Im allgemeinen stehen die verquetschten Mittelschenkel und die daraus sich entwickelnden Plattenfugen senkrecht oder doch recht steil gerichtet zur zusammenpressenden Kraft und liegen in der Richtung, nach welcher Ausweichen möglich ist, oder bilden mit der Ausweichungsrichtung, der Richtung des geringsten Widerstandes, doch einen recht spitzen Winkel.

Als Hilfsmittel, dies festzustellen, hat mir die Anordnung von Lineartextur und sodann die Stellung deformierter Petrefakten gedient.

Die Lineartextur oder Streckungslineatur, die, wenn nicht flüssig-fluidel nur fest-fluidel, also durch Ausquetschen entstanden sein kann, lässt, wo sie beobachtbar ist, stets die absolute Richtung der Bewegungsfaden bei der Gesteinsdeformation erkennen. Immer liegen die Lineartexturen am deutlichsten in den dünngequetschten oder geschleppten Schichtfetzen oder Schichtresten der verquetschten Mittelschenkel. Immer liegen sie da in der Querrichtung der Fältchen oder, was meist das gleiche ist, in der Fallrichtung der Schichten, in der Fallrichtung der so entstandenen Schubflächen oder Plattenfugen oder sie weichen nur wenig, nur einige Grade, selten über  $10^{\circ}$  von der Fallrichtung ab. Die deformierten Petrefakten sind in ihren Dimensionen stets verkürzt in einer Richtung steil zu den Schubflächen oder Plattenfugen, aber verlängert ungefähr in der Richtung dieser Quetschfugen, am meisten in der Richtung der Streckungslineatur auf den Plattenfugen im Mittelschenkel.

Stellen wir uns den Fall vor, dass eine regelmässige Fältelung entstanden ist, dass die Richtung der gebirgsbildenden Stauung genau in die Mittelebene der gefältelten Schicht und die Ausweichungsmöglichkeit genau senkrecht dazu nach oben liege. Dann sind offenbar für alle Faltenschenkel die Bedingungen gleich. Alle werden zusammengedrückt, auf allen werden Verschiebungsfugen ausgebildet, alle Platten, welche Gewölbeumbiegungen haben, werden

nach oben ausgepresst, alle mit Muldenumbiegungen werden relativ unten bleiben.

Die Deformation kann sich im mikroskopisch kleinen vollziehen (Ausweichungsschivage), oder sie kann makroskopische, selbst sehr grosse Gestalten annehmen.

Dieser Fall ist vielfach zu beobachten. Besonders häufig sehen wir ihn bei der engeren Fältelung innerhalb eines grösseren Gewölbebogens oder Muldenbogens. Oft wird dadurch die grosse Schichtfuge völlig gezähnt und eine Schicht greift mit Zähnen in die andere ein. Manchmal kann gleichzeitig die unter hohem Gebirgsdruck vermehrte Löslichkeit mancher Mineralien mitwirken, so dass auf solchen sich zähnenden Schichtfugen sich durch gleichzeitige Umlagerung, aber ohne dass wir uns je eine offene Fuge mit flüssiger Lösung vorstellen dürfen, Sekretionsmineralien anhäufen (Tafel IX, Fig. 6, Tafel VIII, Fig. 8 und 9).

In der grossen Mehrzahl der Fälle wird die mittlere Lage der sich fältelnden Schicht nicht haarscharf genau in die Druckrichtung und die Richtung des geringsten Widerstandes nicht genau senkrecht dazu stehen. Sobald aber in der relativen Lage dieser Dinge nur die geringste Abweichung stattfindet, sobald z. B. die Richtung der Maximalpressung oder die Richtung des geringsten Widerstandes im weiteren Verlaufe der Deformation nur um einige Grade von dem oben angegebenen abweicht, dann wird sofort die ganze Schar der abwechselnden Mittelschenkel der kleinen Fältchen anders beansprucht. Wir denken uns die Schenkelchen nummeriert; dann wird jetzt die Richtung der Zusammendrückung einen weniger steilen Winkel z. B. mit allen Schenkeln von geraden Nummern, einen steileren mit allen Schenkeln ungerader Nummern bilden. Die ersteren werden weniger, die letzteren um so viel mehr verquetscht und zu Schubflächen gesteigert (Tafel IX, Fig. 10). Oder die Richtung des geringsten Widerstandes, die Richtung des Ausweichens, stelle sich etwas schief zur Mittelrichtung der in beginnender Fältelung begriffenen Schicht (Tafel IX, Fig. 11): Sofort werden dann z. B. alle geradnummerigen Schenkelchen dem Ausweichen besser dienen können, indem sie genäherter in der Ausweichungsrichtung liegen, sie werden mehr gestreckt und verzerrt, alle ungeradnummerigen dagegen werden von der Schiebung dadurch gewissermassen befreit. Stehen alle in Betracht fallenden

Grössen in verschiedener Art schiefwinklig zu einander, so werden solche Wirkungen noch weiter sich steigern können. Die Fältchen werden unsymmetrisch. Die Gewölbchen werden nach der gleichen Richtung schief oder gar überliegend und dadurch erst werden die Schenkel differenziert in Mittelschenkel einerseits, Gewölbe und Muldenschenkel andererseits.

Aus dieser Betrachtung lernen wir folgendes: Wenn die Kräfte, welche auf eine in Fältelung begriffene Schicht wirken, nicht absolut symmetrisch gruppiert sind, so muss für alle geradnummerigen gegenüber allen ungeradnummerigen Faltschenkeln eine wenigstens graduelle Differenz in der Umformung sich einstellen.

Das ist es, was wir fast überall beobachten! Darum finden wir in der Regel innerhalb einer Schubplatte nicht nur ein Gewölbe oder eine Mulde, sondern ein ganzes Fältchen, ein S. Darum sind nur die abwechselnden Mittelschenkel zu Schubflächen, Plattenfugen, Schieferungsfugen, oder wie wir das nennen wollen, ausgebildet worden, die anderen auf einem früheren Entwicklungsstadium zurückgeblieben. Die sogenannte Schuppenstruktur ganzer Scharen paralleler Bergketten ist durchaus die gleiche Erscheinung in grossem Masstabe. Stets ist in diesen Fällen mikroskopisch oder makroskopisch eine Stauung ungefähr in der Richtung der ursprünglichen Schichtung oder Schieferung die Veranlassung gewesen. Diese hat in einem ersten Stadium eine einfache Fältelung erzeugt; stets bedeutet die Ausbildung von Schubflächen auf den Mittelschenkeln ein vorgerückteres Stadium der Deformation und mit der Verschiebung auf diesen Schubflächen ist die eigentliche Fältelung zum Stillstand gekommen, die Deformation anders ausgelöst.

Ich muss hier auf das Bild einer fast mikroskopischen Fältelung zurückweisen, das ich schon im Mechanismus der Gebirgsbildung Atlas, Tafel XV, Fig. 7, 8 und 9 gegeben habe und das ich nur schematisch hier in Tafel IX, Fig. 9 andeute. Die sericitisierten Thonschieferschichtchen zwischen den Dolomitschichtchen weisen noch eine weitere feine Fältelung auf, und diese Fältelung hat zu verquetschten Mittelschenkeln mit Schubflächen geführt. Wir sehen hier deutlich die Ausweichungsrichtung nach der Gewölbe-

umbiegung hin gestellt (in Tafel VIII, Fig. 4, 6 und 7 noch kaum sichtbar, noch zu wenig vergrössert).

An diesem Präparate, Taf. IX, Fig. 9, aber erkennen wir auch, wie die Sekundärfältelung da, wo die Mittelfläche der Schichte symmetrisch zu den Kräften steht, also im Scheitelgebiet der Hauptfalte, keine Ungleichheit in der Ausbildung der Mittelschenkel, aber calcitische Verzahnung der Schichtfugen aufweist. Gegen die Schenkel der Hauptfalte hin, wo sich die abwechselnden Mittelschenkel der Sekundärfältchen zu Rutschflächen gesteigert haben, sind es im einen Schenkel die geradnummerigen, im andern die ungeradnummerigen, die so umgewandelt sind, dass das Bild dieser Sekundärfältchen in den zwei Schenkeln der Hauptfalte absolut symmetrisch wird. Was war denn aber in den beiden Schenkeln verschieden? Es war einzig der Winkel zwischen der sekundär sich fältelnden Schicht und der Ausweichungsrichtung. Für den einen Schenkel hatte dieser Winkel umgekehrten Sinn wie für den andern und deshalb mussten auch die Sekundärfältelungen gerade umgekehrt sich ordnen. Es kann wohl kaum einen klareren Beweis dafür geben, dass eben geringe Winkelabweichungen unter den einwirkenden Kräften oder Widerständen zum deformierenden Körper massgebend sind für die Auslese, welche die Deformation unter den verschiedenen Teilen einer Gesteinsmasse trifft. Dadurch werden Fugen, Sericithäute, Festigkeiten, Texturen, Ummineralisationen, Schlieren etc. gesetzmässig geordnet.

Ich muss nochmals auf die hie und da die gefältelten Schichtfugen begleitenden Sekretionen hinweisen.

Im Bündnerschiefer (Plessurthal, Via Mala etc. etc.) finden sich viele Calcitadern und auch Quarzadern, die ich als Exfiltration aus dem Gestein und Infiltration auf den Schichtfugen während des Faltungsprozesses ansehen muss. Sie machen mit den Schichtfugen auch deren Fältelungen mit. Die sie berührenden Schichten sind meist bruchlos umgeformt, es kann also nie eine leere Fuge entstanden sein. Diese Schichtfugensekretionen folgen aber nicht strenge dem Gesetze, dass die Faltenschenkel stets dünner, die Umbiegungsstellen dicker seien, wie es die primären Schichten ohne Ausnahme thun. Hieraus ist ersichtlich, dass sie nicht schon vor dem Faltungsprozess fertig vorhanden waren, sondern erst während desselben allmählich entstanden sein können. Wo sie ge-

zähnte Schichtfugen erfüllen, sieht man in der Regel die einen Linien des Zahnes nur als dünnes Sekretionshäutchen, die andern damit abwechselnden stark entwickelt. Die Zählung zeigt hier eine gesetzmässige Unsymmetrie, erinnernd an die Zerquetschung der abwechselnden Mittelschenkel in Fältelungssystemen. Je die abwechselnden Verschiebungsflächen haben dann stärkere Sekretionsmassen. Recht häufig habe ich ferner solche gezähnte Schichtfugen in Kalksteinen, z. B. im Hochgebirgskalk der Windgällen, des Pfaffenkopfes, der Engelhörner etc. mit Calcitinfiltrationen gefunden. Tafel VIII, Fig. 8 und 9 sind die photographischen Abbildungen einer solchen Schichtfuge aus dem Scheitel einer Falte von einigen Metern Weite. Die Stücke stammen von der Windgälle und liegen in unserer Sammlung.

In besonders schöner Form stellen sich ferner feine Quarz und auch Calcitsekretionen auf den Umbiegungsstellen der Schichtfugen ein da, wo ein leicht zu sekundärer Fältelung geneigtes Schichtchen an ein steiferes grenzt. Der Fall ist z. B. sehr deutlich in zahlreichen Dünnschliffen der gefältelten Röthidolomit-Quartenschiefer-Schichten vom Puntaiglasgletscher zu verfolgen (Tafel VIII, Fig. 2—7 und Tafel IX, Fig. 9 und 13). Die Sekretionsquarzkörner zeigen undulöse Auslöschungen und eine Umbiegung und Ausstreckung, welche deutlich beweist, dass die Sekretion während der Fältelung entstanden ist, so dass die Anfänge der Sekretionsminerale von dem faltenden Druck stärker, die späteren Fortsetzungen successive schwächer beeinflusst worden sind. Das Vorkommen dieser Sekretionen in den Lücken zwischen den sekundärfaltigen glimmerigen Thonschichtchen einerseits und den Dolomitschichtchen andererseits, sowie das totale Fehlen auf den Mittelschenkeln, die Anhäufung nur in den Schichtfugen der Umbiegungsstellen, beweisen schon an sich, dass die Sekretion vor Beginn der Fältelung noch nicht vorhanden war, sondern erst in vorrückenden Stadien derselben entstanden ist. Die Sekretionen sind an den Stellen der geringsten Kompression entstanden. Das an andern Stellen weggequetschte Material ist gegen diese letzteren zugeströmt. Diese Wanderung der Moleküle war zum Teil unterstützt durch Lösung und Absatz. Gewiss dürfen wir uns nicht auch nur vorübergehend eine wirklich klaffende Schichtfuge denken. Aber die Sekretionen sind gewissermassen ausgequetscht worden von den

Stellen grösster Kompression und angesaugt an die Stellen geringster Pressung, stetsfort dicht sich hineinlagernd und ohne je eine Lücke entstehen zu lassen. Jede offene Fuge hätte sofort die herrlichen Kurven der dolomitischen Schichtchen in ihrer Ausbildung zerstört und ein Trümmerwerk von Schichtstücklein, eine Dislokationsbreccie an Stelle der Fältelung geschaffen.

Zu unserem Ausgangspunkte, dem gefältelten Gneiss in der Schlucht von Dazio Grande zurückkehrend, weise ich noch darauf hin, dass wir es hier mit feiner Fältelung (Sekundärfältelung, vielleicht Tertiärfältelung, Mechanismus Seite 223, Band I) zu thun haben, welche sich mehr oder weniger der Scheitelregion einer grösseren liegenden Falte einordnet. Dem entsprechend sehen wir in der mittleren Region hie und da Wechsel in der Schubrichtung und nicht ganz selten beide Schenkel beiderseits einer Umbiegung zur Verschiebung geworden. Dagegen treffen wir auch hier vom Standpunkte, von welchem aus wir unser Bild (Tafel IX, Fig. 1 und 2, und schematisiert in Fig. 10) betrachten am linksseitigen (südlichen) Schenkel der Hauptfalte vorherrschend diejenigen Schenkelchen verquetscht, welche links am Gewölbchen der Sekundärfältchen anliegen. Am rechtsseitigen nördlichen Schenkel aber sehen wir nicht das symmetrische Bild wie bei Tafel IX, Fig. 9, sondern auch hier fallen vorherrschend die links dem Gewölbchen anliegenden Schenkelchen in die Plattenfugen. Wir erkennen hieraus, dass durch die ganze Masse hindurch vorwiegend die unteren Platten nach oben hinausgeschoben worden sind. Die Feinfältelung zeigt uns sicherer, wie die ganze Gebirgsmasse durch und durch in der letzten Phase der Stauung deformiert worden ist, als die grösseren Falten, die wahrscheinlich selbst nicht sehr wesentlich, sondern hier nur wieder einer noch viel grösseren untergeordnet sind. Das Bild der Zerknitterung der Erdrinde, das uns die Dazioschlucht bietet, ist also wiederum in manchen Dingen verschieden von anderen. Wir werden allmählich noch mehr solcher Typen kennen lernen können, es gilt nur die Fälle durch möglichst scharfe Beobachtung zu unterscheiden.

Noch verschiedene Variationen in der Ausbildung von Fältelungen und Verschiebungsflächen lassen sich erkennen: Wir sehen z. B. in der Schlucht von Dazio Grande oft Formen wie Taf. IX, Fig. 11, wo die Schubflächen erst nach intensiver Fältelung der Gneisse

entstanden zu sein scheinen und die Quetschung weiter gedieh bis die Plattenverschiebung eintrat. Andere Stellen, wie sie Taf. IX, Fig. 12 abbildet, zeigen die Schubflächen schon gleich nach begonnener Kräuselung entstanden, wahrscheinlich weil die Pressung lokal schiefer zur beginnenden Plattung sich stellte. Variationen dieser Art lassen sich auch sehr schön im Gebiete der Bündnerschiefer hinter Chur oder in der Via Mala, am Quartenschiefer des Puntaiglasgletschers etc. verfolgen.

Da es immer noch Querköpfe giebt, welche die reduzierten verkehrten Mittelschenkel einfach glauben leugnen zu können, und welche keine Ueberschiebung als aus einer Uebertreibung einer Falte hervorgegangen anerkennen wollen, so gebe ich hier bei diesem Anlasse zum Vergleiche noch die photographischen Abbildungen von einigen Schnittflächen auf einem gefalteten Quartenschiefer — Röthidolomit. Auch hier sieht man in allen Stadien, wie aus den verquetschten Mittelschenkeln Schubflächen und Plattenfugen hervorgehen (Tafel VIII, Fig. 2—7, besonders 3).

In den Fältelungen der Zwischenschichten von Röthidolomit und Quartenschiefer, in denjenigen im Gneisse von Dazio grande ist der ursprüngliche Mineralbestand sehr wenig verändert, die Deformation hat auch die feinste innere Struktur zum Teil unverändert belassen, sie hat die Textur mehr nur in den grösseren Formen mächtig geändert. Wenn wir das Ganze der Stauungs-metamorphose überblicken, wie sie in zahllosen Beispielen nicht nur aus den Alpen, sondern auch aus andern Gebieten studiert worden ist, so beachten wir mit Erstaunen, dass durchaus nicht immer einer stärkeren Umformung von Struktur, Textur, inbegriffen die Fältelung, einerseits auch eine stärkere Umwandlung des Mineralbestandes andererseits entspricht und dass das Verhältnis, in welchem die Textur und die Mineralien verändert werden, auch unabhängig ist vom Gestein, dagegen abhängig vom Ort. Am einen Ort ist ein Gabbro mit wenig Mineraländerung zum Gabbroschiefer gequetscht (Schams, Piz Curver), am andern Ort ist das gleiche Gestein zu einem Granatzoisitsmaragditfels oder einem Eklogit geworden, der völlig massig geblieben ist. Der eine Gneiss ist Gneiss geblieben, nur eng gefältelt (Dazio Grande) oder er zerfällt durch ein neues Clivage, welches die ursprüngliche Schieferung durchsetzt, in lauter

Stäbe (Frunthorn bei Vals), der andere ist ohne Veränderung der Schieferungslage sericitisiert (Untersandalp, Urserenthal). Der eine Granit ist in Sericitquarzfels umgewandelt, aber ganz massig geblieben (Taspinit in Schams), der andere ist ohne starke Sericitisierung zu Gneiss schiefrig gequetscht (Val Cristallina). Die fleckigen, mergeligen Schiltkalke sind am einen Ort (Bützistöckli Kt. Glarus) ohne die geringste Aenderung in der Zusammensetzung und Struktur, bloss texturell zu Gesteinsstäben ausgewalzt, am anderen (Fuss des Wetterhorn, Unter-Grindelwaldgletscher) in herrlichen bunten Marmor flaserig, durchzogen von chloritischen Häuten, umgewandelt. Dann giebt es wieder eine Masse von Dynamometamorphosen, wo texturelle und mineralische Umwandlung zusammengehen: Der schieferig gequetschte oder lineargestreckte Eisenoolith der Windgälle mit den zerrissenen Belemniten flimmert von Magnetitoktaederchen, die ganz unbeeinflusst von der Quetschschieferung das Gestein erfüllen, massige Quarzporphyre sind zu Sericitschiefern (Alpno Maderanerthal, Piz Cavel Somvix etc.), massige dichte Kalksteine sind zu lineargestreckten Glimmermarmoren (Andermatt, Val Canaria, Piz Aul etc. etc.) geworden. Am scheinbar widersprechendsten sind diejenigen Fälle, wo ursprünglich schieferig textuierte Gesteine massig geworden sind. Ueberall, wo dies der Fall ist, hat eine starke Ummineralisation stattgefunden. Es ist mir bisher kein Fall bekannt geworden, wo schieferige Textur bei unverändertem Mineralbestand aufgehoben worden wäre. Schieferige Gesteine, ummineralisiert und massig geworden, sind z. B. manche aus liasischen Schiefern entstandene massige Granathornfelse (Bündner Schieferzug von Monte Sosto, Lukmanier, Val Piora, Val Canaria), die Marmore mit undeformierten marmorisierten Gryphaenen von Vanescha Val Lugnez, massige Eklogite in Platten aus Hornblendeschiefern entstanden (Piz Fanella), vielleicht auch manche andere massige Granat-, Zoisit-, Disthen- etc.-Gesteine, von denen nicht immer entschieden werden kann, ob sie aus ursprünglich schieferigen oder massigen Gesteinen entstanden sind. Und doch zeigt die Anordnung, Lagerung und Umgebung dieser Gesteinsmassen deutlich, dass auch hier die Stauung bei der Gebirgsbildung die Ursache der Umwandlung gewesen ist. Hätte man nicht erwarten sollen, dass jede Stauungsmetamorphose erst das Gestein schiefern und dann allmählich dazu noch umminerali-

sieren sollte, dass aber Gebirgsstauung es niemals massiger machen könne? Hätte man nicht erwarten sollen, dass die verschiedenen, die Textur und den Mineralbestand ergreifenden Umwandlungen bei bestimmten Gesteinen in bestimmter Reihenfolge auftreten müssten? Anstatt dessen beobachten wir, dass bei der Stauungs-  
metamorphose texturelle und mineralische Umwandlung unabhängig von einander bald das eine bald das andere stärker oder dass sie in wechselnder Reihenfolge sich geltend machen.

Wenn ich alle mir vor Augen stehenden bezüglichlichen Beobachtungen zusammenhalte, fällt mir auf, dass eine Mehrzahl der mir bekannten Beispiele von sehr vorherrschender Texturmetamorphose mit wenig Ummineralisation Regionen starker Bewegung des Gebirges, z. B. Regionen von gestreckten Mittelschenkeln etc. angehören. Dagegen gehören viele mir bekannte Fälle, wo die mineralische Metamorphose viel stärker ist, als die texturelle, wo also Gesteine massiger geblieben oder gar massig geworden sind, den tiefen Gewölbekernen oder den Muldenkernen grosser Faltenregionen, d. h. Stellen im Gebirge mit weniger Bewegung, mehr stehendem Drucke, an.

Hieraus ergibt sich mir ein Gesichtspunkt zur Erklärung der wechsellvollen Mischungen von mineralischer und textureller Gebirgs-  
metamorphose. Wir haben im Gebirge Regionen mit enormer Pressung ohne Gelegenheit zum Ausweichen, also ohne Bewegung, und wir haben umgekehrt im Innern des entstehenden Gebirges Zonen, wo ein Ausweichen der gepressten Massen leichter möglich ist. Wir haben Stellen, wo der Angriffspunkt der Pressung steht, andere wo er wandert. Darnach müssen zwei verschiedene Typen der Stauungsmetamorphose sich ausbilden:

1. Es ist einleuchtend, dass eine enorme Pressung fast ohne Möglichkeit, auszuweichen, eine massige Textur befördern muss, denn der Druck pflanzt sich in der Masse wie hydrostatischer Druck in allen Richtungen fort, keine Richtung giebt andere Bedingungen als eine andere, und unter der Molekularbeweglichkeit, welche Folge der latenten Plasticität ist, kann massige Ummineralisation eintreten. Unter solchen Bedingungen entstehen die spezifisch schwersten Minerale, zu welchen die vorhandene Substanz sich gruppieren kann (Saussurit, Zoisit, Granat, Rutil, Sillimanit, Disthen, Stauroolith, Biotit, Sericit, Magnetit).

2. Es ist ebenso einleuchtend, dass, wenn Ausweichen des Gesteins nach einer Richtung eintreten kann, wie in einem Dampfkessel mit offenem Ventil, die ganze innere ummineralisierende Stauung nie so hoch steigen kann, dagegen wird die Bewegung mechanische Texturen erzeugen wie Fältelung, Clivage, Linearstreckung, Fluidaltextur, und wenn Ummineralisation eintritt, wird sie besonders die Ausbildung solcher Mineralien ergeben, welche die Beweglichkeit fördern durch geringe Reibung, Gleitflächen, geringe innere Festigkeit, wie das bei Sericit, Disthen, Glimmer, Chlorit, Talk, Graphit der Fall ist.

Dazu kommt ferner, dass im Verlaufe der Aufstauung eines gewaltigen Kettengebirges durch die sich folgenden Bewegungen die lokalen mechanischen Bedingungen sich verändern. Ein Gestein, das erst ohne ausweichen zu können, enorm gepresst worden ist, kann vielleicht später ausweichen; einem Gestein, das fließend ausgepresst worden ist, kann später der Ausweg abgeschlossen werden. Der Wechsel der Bedingungen kann sich repetieren und stets wird eine entsprechende Wirkung eintreten.

Von diesen Gesichtspunkten aus wird es deutlich, dass die enorm mannigfaltigen und scheinbar gesetzlosen Kombinationen von textueller und mineralischer Dynamometamorphose durchaus selbstverständlich und notwendig sind, und dass in denselben für die gesamte Auffassung der Gebirgsmetamorphose kein Widerspruch liegt.

Stehende Pressung kann aber ausser durch die Gebirgsstauung auch durch den Druck überliegender Gesteine in grosser Tiefe entstehen. Die Ummineralisationen durch die Gebirgsstauung sind deshalb vielleicht nicht unbedingt charakteristisch für Gebirgsdislokation. Die blosse Last der überliegenden Gesteine kann aber nur dann horizontale Schieferung erzeugen, wenn die Gesteine noch in einem gewissen Grade zusammendrückbar sind. Das hat seine engen Grenzen; immerhin müssen wir anerkennen, dass eine gewisse Druckschieferung auch ohne Gebirgsdislokation möglich ist. Dagegen sind die kräftigen Texturmetamorphosen wie Fältelung, Transversalschieferung, Linearstreckung, Fluidaltextur bei Sedimenten, Knetstruktur etc. sicher nur Resultate der Gebirgsdislokation, denn nur bei dieser kombiniert sich enorme Pressung mit naher Gelegenheit zum Ausweichen, nur hier kann eine lebhaftere

innere Bewegung, eine Gesteinsdeformation eintreten, und nur in bestehenden oder ehemaligen Kettengebirgen, in Faltungszonen der Erdrinde finden wir diese Erscheinungen vollauf entwickelt.

Schon wiederholt ist die Frage erörtert worden, ob die mechanische Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung bloss direkt mechanisch erzeugt, oder durch Lösung und Wiederabsatz innerhalb der langsam sich deformierenden Gesteinsmasse bedingt sei.

Wenn wir Gesteine enorm linear gestreckt oder verknestet oder mit Clivage durchsetzt finden, ohne die geringste Ummineralisation, wenn dabei die feinsten ursprünglichen Strukturen unverändert geblieben sind, wenn, wie wir dies so oft in gestreckten Sedimenten finden, auch die innere Struktur feiner auseinander gezerrter Schalensplitter von Petrefakten in ihrer Ursprünglichkeit erhalten ist und die Differenz dieser Petrefaktenstrukturen mit den Strukturen des einschliessenden Gesteines völlig klar und unverändert geblieben ist, der gestreckte Schwamm, die gestreckte Ammonitenschale, der gestreckte Belemnit, die zerrissene Pinnaschale ihre charakteristische Struktur und Textur behalten haben, so müssen wir diese Umformung als eine direkt und rein mechanisch geschehene bezeichnen. Wenn im geringsten allmähliche Umlagerung mittels gepresster Lösung mitgewirkt hätte, so hätten sich die feinsten Strukturen und Strukturdifferenzen verändern müssen, denn niemals würde der Wiederabsatz die gleichen Struktureigentümlichkeiten nachahmen können, die das Weggelöste nach seiner Bildungsart gekennzeichnet hatten. Es giebt aber mächtig gefaltete Schichten, die gar keine Ummineralisation aufweisen. Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung unter allseitig hoher Belastung kann also thatsächlich durch rein mechanische Vorgänge zustande kommen. Neben dem Nachweis an der Beschaffenheit deformierter Gesteine ist die theoretische Erkenntnis, dass es so sein kann oder sogar so sein muss, wie ich sie im „Mechanismus der Gebirgsbildung“ (Bd. II S. 79) gegeben habe und noch weiter zu stützen in der Lage wäre, von nebensächlicher Bedeutung.

Andererseits sehen wir bei genauer Prüfung, wie neben der bloss mechanischen Deformation die Ummineralisation allmählich eintritt und weiter greift. Im gefältelten Röthidolomit-Quartenschiefer vom Piz Urlaun lässt sich am Röthidolomit der Umbiegungsstellen noch keine Strukturveränderung erkennen, und doch stellen sich auf den Schichtfugen der Umbiegungsstellen schon

Dolomitrystallagen und zwischen den Sericitschieferschichtchen und den dolomitischen Quarzkrystalle ein. Nach dem Volumen des Umkrystallisierten im Vergleich zum Volumen des in der innern Struktur unverändert deformierten Gesteines möchte ich hier schätzen, dass wenigstens  $\frac{3}{4}$  der Umformung rein mechanisch, höchstens  $\frac{1}{4}$  unter Mithülfe von Lösung, Transport und Wiederabsatz sich vollzogen hat.

Wir denken uns dabei selbstverständlich nicht eine grosse Menge von lösender Flüssigkeit. Die allgemeine Gebirgsfeuchtigkeit mag ausgereicht haben. Die gleiche kleinste Wassermenge kann beständig wieder ins Spiel gegriffen haben. Der enorme Druck hat die Lösungskraft des Wassers mächtig vermehrt gerade an den am stärksten gepressten Stellen, und das hier Gelöste ist an die Stellen etwas geringerer Pressung intermolekular gewandert und hat sich sofort wieder abgesetzt. Hohlräume konnten nie entstehen. Jede Gegenwart von Hohlräumen hätte sofort das ganze Bild der Umformung geändert: das gepresste, sich schön fältelnde Gestein wäre in eine Dislokationsbreccie umgewandelt worden.

Manche durch Stauungsmetamorphose entstandene Mineralien sind wasserhaltig (Sericit aus Feldspat); da ist Mitwirkung des Wassers ja erwiesen. Viele andere sind nicht wasserhaltig; dies ist kein Gegenbeweis für die Mitwirkung des Wassers bei der Umlagerung. Wie sollen wir aber die Calcit-, Dolomit-, Quarzeinlagerungen auf den Schichtfugen der Umbiegungsstellen bezeichnen? Sicherlich passt dafür der Name Sekretion nicht, denn es war kein präexistenter Hohlraum vorhanden. Aber auch der Name Konkretion passt nicht, denn nicht Molekularkräfte, sondern von aussen kommender Druck hat die Bildung veranlasst und ihre Gestalt und Ordnung regiert. Es ist weder Sekretion noch Konkretion, es ist Lösungsumlagerung, bedingt durch die mechanische Stauung.

Die Lösungsumlagerung denke ich mir nur als eine vermehrte Molekularbeweglichkeit durch Mitwirkung der gepressten Feuchtigkeit. Dieselbe hat gewiss bei einer Menge von tiefer gehenden Ummineralisationen mitgewirkt. Die Entstehung von Sericitschiefern und Sericitgneissen aus Quarzporphyren ist ihr sicher zuzuschreiben und gewiss auch viele Umwandlungen von gestauten Kalksteinen in Marmore, Cippoline, von Thonschiefern in Granat-, Glimmer-, Zoisit-Gesteine etc. etc. Die Herren Petrographen vom

Fach, welche die Stauungsmetamorphosen untersuchen, denken stets an diese Fälle mit starker Ummineralisation. Aber sie gehen gewiss zu weit, wenn sie aus ihren Beobachtungen schliessen, dass die mechanische Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung nur dadurch vermittelt sein könne. Wenn ich einen Komplex dichter Kalksteinschichten in einem Bogen von 10, 100 oder 1000 m Radius umgekrümmt sehe, so dass die relative Bewegung und Verstellung der einen Teile des Schichtenkomplexes gegen die andern viele Meter betragen hat, während nicht die geringste Strukturveränderung oder Ummineralisation bemerkbar ist, so kann ich in diesem Falle doch diese Verstellungen um hunderte von Metern nicht als Summation solcher mikroskopisch feiner Lösungsumlagerungen annehmen. Das ist rein mechanischer Vorgang. Es kann sogar durchaus kein stichhaltiger Grund dafür angegeben werden, dass nicht auf dem rein trockenen Wege der mechanischen Deformation auch Ummineralisationen eintreten können, ja eintreten müssen. Man klammert sich nur deshalb immer an das rettende und allgegenwärtige Wasser, weil es offenbar so schwer hält, sich wirklich hineinzudenken in die mechanischen Zustände der Gesteine unter einer Belastung und einem Druck, der allseitig viel grösser ist, als die rückwirkende Festigkeit. Wenn da unten die Gebirgsfeuchtigkeit da ist, wird auch ihre umkrystallisierende Wirkung erleichtert und vermehrt sein, aber wir brauchen sie gar nicht notwendig; der Zustand der latenten Plastizität da unten muss notwendig schon ohne Wasser Umkrystallisationen im Sinne der Ausbildung der dichtesten Mineralien ergeben. Was also vielen als Bedingung erscheint, die Gegenwart des Wassers, erscheint mir nur als Erleichterndes. Da es wohl fast immer vorhanden ist, wird es fast immer in Wirkung treten. Und so anerkenne ich gerne, dass bei den meisten Stauungsmetamorphosen mit Ummineralisation die Lösungsumlagerung wesentlich thätig gewesen ist. Andererseits sollte man aber auch anerkennen, dass diejenigen enormen Deformationen der Gesteine, die ganz ohne jede Ummineralisation eingetreten sind, auf rein mechanischem Wege ohne Lösungsumlagerung sich vollzogen haben.

Das vorliegende Beispiel, Gneissfältelung im Gebiete der Schlucht von Dazio Grande, Tessin, hat uns wiederum gelehrt, dass eine sehr intensive innere Stauung ein geschichtetes und der

Schichtung parallel geschiefertes Gestein zu feiner Fältelung führen kann, dass das Phänomen der verquetschten Mittelschenkel wie in grossen Faltenformen, die Gebirgsketten bilden, so auch in den kleinen Fältchen bis hinab zur mikroskopisch feinen Zerknitterung sich einstellen kann, und wie aus dieser Feinfältelung eine Plattung hervorgehen kann, die eine Summation verquetschter Mittelschenkelchen ist und die mehr und mehr das Texturbild des Gesteines verändert. Geht es noch weiter als hier, so kommt bald noch ein höherer Grad der Quetschung dazu, welche auch das Innere der Platten ergreift und den Randflächen parallel flasert. Wir haben oft solche Uebergänge verfolgen können (Frunthorn bei Vals etc.). Die ältere Flaserung verwischt sich. Bald sieht man deren Fältchen nicht mehr, dann kann man bald auch die grossen Falten des Gebirges nicht mehr herauslesen, centralmassivische Schieferungseinförmigkeit tritt an ihre Stelle. Wir schliessen hieraus wiederum, dass manche Region der Centralmassive, die uns nur die alpin streichende steile einförmige Schieferung erkennen lässt, dennoch eigentlich eine Faltung ihrer Gesteinsmassen, sehr ähnlich derjenigen der Sedimentzonen enthalten kann, wie sie uns in einem so schönen Beispiele in der Schlucht von Dazio Grande noch erkennbar geblieben ist. Die Centralmassive haben sicherlich vielfach den aufliegenden oder sie fortsetzenden Sedimentketten ähnlichen Faltenbau auch da, wo die einförmigste Plattung und Schieferung nichts mehr davon sichtbar gelassen hat, und die Zerknitterung der Erdrinde ist oft noch viel hochgradiger, als es äusserlich den Anschein hat.

---

#### Nachtrag.

Einer meiner Schüler, Herr G. Allenspach, der sich für die Fragen der Deformation bei der Gebirgsbildung sehr interessiert, hat es übernommen, eine Partie Dünnschliffe durch gefaltete Gesteine vom Puntaiglasgletscher im petrogr. Institut unter Anleitung von Herrn Professor Grubenmann eingehender zu studieren. Herr Allenspach reicht mir darüber den Bericht ein, den ich nachstehend zum Abdruck bringe. Die zugehörige Figur ist Tafel VIII, Fig. 13.

# Dünnschliffe von gefältelem Röhthidolomit-Quartenschiefer am Piz Urlaun.

Von

**G. Allenspach.**

---

Mitteilung aus dem mineralogisch-petrographischen Institut  
des eidgenössischen Polytechnikums.

In den Beiträgen zur geologischen Karte der Schweiz, Lieferung XXV, pag. 18, schreibt Prof. Heim:

„Die Hauptmasse des Röhthidolomit ist entweder der feste, dichte Dolomit, oder es ist Zellendolomit-Rauchwacke (Cargneule). Nach oben finden wir einen Uebergang in grüne, rote oder violette Thonschiefer, den Quartenschiefer.

Derselbe vollzieht sich an vielen Stellen (z. B. Südseite der Tödigruppe am Piz Urlaun etc.) in Gestalt eines wohl hundertfachen Wechsels ganz dünner Dolomitlagen mit Schieferlagen, in welchen enge Staufalten vorzüglich schön ausgebildet sein können (Piz Urlaun, Carvera etc. etc.).“

Von dieser Uebergangszone befinden sich in der geologischen Sammlung des eidgenössischen Polytechnikums eine Menge sehr schöner Handstücke; sie sind senkrecht zur Faltung, also senkrecht zur Schichtung geschnitten und auf der einen Seite poliert. Aus dieser Sammlung wurden die passendsten Stücke ausgewählt, um aus denselben grosse Dünnschliffe herstellen zu lassen. Die Schliifflächen gehen parallel zur polierten Fläche der Handstücke, also auch senkrecht zur Faltung und senkrecht zur Schichtfläche. Die Schliffe selbst sind grösser als gewöhnliche Dünnschliffe; die grössern haben bis 20 cm<sup>2</sup> Schliiffläche. Sie wurden deshalb grösser gewählt, da es sich nicht nur um petrographische Bestimmungen handelte, sondern in erster Linie der Bau der einzelnen Falte, ihr Verlauf, ihr Zusammenhang mit andern Falten in Betracht gezogen werden sollte. Die Schliffe sind trotz ihrer Grösse sehr gut ge-

lungen und machen der Firma Voigt & Hochgesang in Göttingen alle Ehre.

Schon dem unbewaffneten Auge fällt die typische Faltung sofort auf. Am schönsten sind die Faltungserscheinungen aber bei schwacher Vergrößerung mit Objektiv No. 00 R. Winkel unter  $\times$  Nicols zu verfolgen, wobei man den Vorteil hat, trotz Vergrößerung ein relativ grosses Gesichtsfeld zu überblicken. Wie bereits bemerkt, wechseln braune bis hellgelbe Schichten von Dolomit mit solchen von dunklem grünen Thonschiefer. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichtchen wechselt sehr, beträgt aber an normalen Stellen im Maximum 1 mm. Im allgemeinen scheinen die Dolomitschichtchen etwas mächtiger zu sein als die Thonschieferschichtchen. Keine Partie ist von der Gebirgsstauung unberührt geblieben; Falte reiht sich an Falte. Die Mittelschenkel sind sehr gequetscht, reduziert, oft total ausgewalzt und zerrissen. Letztere Erscheinung betrifft teils nur die Schieferpartien, teils nur die Dolomitbänder, teils beide. Ebenso häufig trifft man natürlich alle möglichen Uebergänge einer normalen Falte zur vollständigen Faltenüberschiebung. An den Umbiegungsstellen sind die Dolomitpartien ebenso wie die Schieferschichten stark verdickt und an diesen Stellen glaubt man zwischen den Schichten mit blossem Auge oder mit gewöhnlichem Mikroskop „klaffende Fugen“ zu treffen. Mit  $\times$  Nicols aber erkennt man an Stelle dieser Fugen Quarzkörner, mehr oder weniger stark undulös auslöschend. Nirgends ist eine Spalte, eine Fuge oder ein Loch zu treffen. Jede scheinbare Lücke ist mit Quarz ausgefüllt.

Untersuchen wir zunächst die drei Hauptpartien einer einzelnen Falte.

**1. Der Thonschiefer.** Den weitaus grössten Anteil an seinem Aufbau nimmt ein farbloser bis grünlicher Glimmer; nach seiner fast geraden Auslöschung, seinem schwachen Relief und seiner starken Doppelbrechung ist derselbe als Muscovit zu erkennen. Er erscheint in leistenförmigen Durchschnitten mit deutlich sichtbarer Spaltbarkeit nach (001). Der Muscovit ruht folglich mit seiner Basisfläche in der Schichtebene. Quarz ist ungewöhnlich spärlich zu finden; er bildet kleine, unreine flach linsenförmige Aggregate, die vollständig von Muscovit eingeschlossen sind. Da er mit dem Muscovit gestaut wurde, löscht er undulös aus. Neben

diesen primären Quarzen erkennt man noch eine sekundäre, völlig reine Quarzablagerung durch Sekretion, ganz unregelmässig und verschieden geformt. Meist ist es eine Lücke im Muscovit, die durch die Faltung entstanden sein mag, in welche der Quarz als ausf llende Sekretion eindrang. Diese Bildungen sind theils stark, theils wenig, theils gar nicht undulös auslöschend, wahrscheinlich je nachdem sie zu Beginn, während oder erst am Schlusse der Faltung entstanden sind. Hie und da kommt als Nebengemengtheil noch Rutil vor, kenntlich durch braunrote bis gelbliche Färbung, sehr hohes Relief und starke Doppelbrechung. Seine Nädelchen sind aber nur bei ganz starker Vergrösserung zu erkennen.

Häufiger als Quarz und Rutil sind Eisenminerale. Unter denselben erkennt man Hämatit, Limonit und Pyrit; Hämatit in rotbraunen bis roten Blättchen mit gerader Auslöschung und mittlerem Relief; Limonit unregelmässig, meist fein zerteilt; Schwefeleisen in scharfbegrenzten, schön metallisch glänzenden speisgelben Kryställchen. Hämatit ist oft und leicht zu finden, während Pyrit nur ganz selten vorkommt.

Die ursprüngliche Paralleltexur ist noch an den meisten Orten mehr oder weniger deutlich erhalten. Durch weitgetriebene Faltenverwerfungen geht dieselbe stellenweise aber verloren und macht einem Clivage Platz. Der Thonschiefer ist ein plastisches Material; er bildet innerhalb einer Falte eine Menge kleinerer Falten: wir wollen sie Mikrofalten nennen. Diese sind natürlich nicht an den Umbiegungsstellen am häufigsten zu treffen, sondern in der Nähe der Umbiegungsstellen auf den Schenkeln. An den Umbiegungsstellen selbst verwandeln sie sich in einen sanft wellenförmigen Schichtenverlauf. Gegen die Mittelschenkel hin nehmen sie an Zahl ab, gehen aber dafür meist in Faltenverwerfungen über, nehmen also an Intensität zu.

In den Mittelschenkeln der Mikrofalten beobachtet man hie und da nicht nur starke Falten berschiebungen, sondern auch Bruchstellen, die aber schon während ihres Entstehens durch Quarz ausgefüllt wurden. Da diese Quarzsekretionen nach ihrer Ausscheidung auch wieder durch Druck beeinflusst wurden, zeigen sie undulöse Auslöschung; sie müssen sich also während der Faltung gebildet haben. Eine solche Bruchstelle durchzieht oft das ganze Band; manchmal sind nur einzelne kleinere Partien

gebrochen. Es gibt auch Fälle, in welchen das Glimmerband zwar zerrissen, die Lücke aber durch Glimmerblättchen selbst wieder ausgefüllt ist. Diese Verbindungsblättchen liegen nicht regellos zwischen den ebenfalls gequetschten Gewölbe- und Muldenschenkeln; sie lassen vielmehr meist noch die ursprüngliche Lage des gequetschten und nun zerissenen Mittelschenkels erkennen. An solchen Orten ist die Schleppung an den Gewölbe- und Mulden-Umbiegungen deutlich zu beobachten.

**2. Der Dolomit.** Wenn man von einem Handstück unseres Materials ein Stück eines braunen bis gelben Schichtchens abtrennt und dasselbe mit Essigsäure übergiesst, so reagiert es in keiner Weise; mit kalter verdünnter HCl braust es schwach; erst beim Erwärmen findet eine lebhafte CO<sub>2</sub>-Entwicklung statt. Die entstehende Lösung ist jedoch nicht klar, sondern durch Gegenwart von Eisensubstanzen gelblich gefärbt und reagiert sehr deutlich mit Ferrocyankalium auf Eisen. Das Schichtchen besteht also aus typischem Dolomit.

Unter dem Mikroskop erkennt man bei  $\times$  Nicols sofort zwei total verschiedene Vorkommen des Dolomites. Schon in der Einleitung wurde bemerkt, dass Dolomitschichtchen und Schieferschichtchen in den Faltenumbiegungen stark verdickt sind und dass zwischen den einzelnen dieser Schichten scheinbar klaffende Fugen durch Quarz ausgefüllt werden. Die einzelnen Dolomitschichtchen sind nach oben und unten gut abgegrenzt; der scharfe Rand bildet oft schöne, regelmässige Kurven. An diese im grossen Ganzen eine Einheit bildenden Schichtchen schliessen sich auf beiden Seiten grössere, selbständige, längliche und meist gut abgegrenzte einzelne Dolomitkrystalle an. Dem Beobachter fällt sofort in die Augen, dass diese einzelnen Krystalle von den Dolomitschichtchen vollständig unabhängig sind und auf einem andern Wege entstanden sein müssen.

Betrachten wir zunächst die Dolomitschichten. Dolomit unterscheidet sich bekanntlich mikroskopisch hauptsächlich dadurch von Calcit, dass er nicht eine allotriomorph-körnige, sondern eine mehr oder weniger panidiomorph-körnige Struktur besitzt. Die einzelnen Kryställchen verzahnen sich nicht allseitig wie im körnigen Kalk, sondern sie berühren sich in kleineren Flächen. Ihr Gefüge erscheint dadurch locker, zuckerartig. Diese zucker-

körnige Struktur ist in unserm Falle von grosser Bedeutung; sie giebt dem Dolomit eine gewisse Gelenkigkeit. Es ist damit die Möglichkeit gegeben, dass ein gewisses Mass von Umformung vor sich gehen kann, ohne sichtbaren Bruch zu erzeugen. Unter starker Vergrösserung ist an den Umbiegungsstellen die „Zuckerstruktur“ oft noch sehr deutlich zu erkennen; man trifft schöne und gut ausgebildete Rhomboëder; deutlich umgrenzte Krystallaggregate sind eine häufige Erscheinung.

Ist das zuckerkörnige Gefüge, welches eigentlich einer richtungslosen Textur entspricht, nicht mehr vorhanden, so hat es etwelcher Parallelanordnung Platz gemacht. Die einzelnen Individuen sind immer noch relativ selbständig; ihre Gestalt ist aber etwas länglicher geworden; die Hauptausdehnung geht natürlich parallel der Schichtung. Je mehr man sich von den Umbiegungsstellen nach den gequetschten Schenkeln hin bewegt, desto mehr nimmt diese Erscheinung überhand; am stärksten ist sie in den ausgewalzten Schenkeln selbst ausgeprägt. Die einzelnen Kryställchen werden immer dünner und länger, und erscheinen schliesslich flach gequetscht. Dennoch bildet jedes Individuum eine Krystalleinheit; es ist nicht zusammengesetzt, d. h. kein Aggregat, was daraus hervorgeht, dass es unter  $\times$  Nicols einheitliche Polarisationserscheinungen erzeugt. Der einzelne Krystall ist gequetscht worden. Die Masse des einzelnen Körnchens ist dabei die gleiche geblieben; nur die Form hat sich geändert.

Ueber eine analoge Erscheinung giebt Professor Heim im „Mechanismus der Gebirgsbildung“ II (pag. 54) auf Tafel XV, Fig. 10 eine Abbildung eines Dünnschliffes durch gestauten dichten Hochgebirgskalk von Fernigen, Uri, und schreibt dazu:

„Fig. 10, Tafel XV stellt einen Dünnschliff parallel der Schieferung von einer Kalksteinplatte dar, in deren Ebene ein abgerissener Belemnit lag (Meyenthal). Hier ist nicht nur senkrecht zur Schieferenebene, sondern auch in der Schieferenebene selbst die Ausbildung keine gleichförmige mehr, es sind alle kleinsten Körner in der Streckungsrichtung des Belemniten ebenfalls gestreckt, jedoch ohne die geringsten Zerreibungen. Die Körner, die früher höchstens in der Schichtebene etwas lamellar oder tafelförmig waren, sind jetzt linear gestreckt. Dadurch entsteht eine sehr feine Struktur, welche allerdings in den von mir bis jetzt untersuchten

Fällen sich nicht auffallend als Schieferung beim Zerbrechen kund gibt, wie das Ausweichungslivage, doch immerhin fühlbar wird.“

Professor Heim nennt diese Erscheinung Mikroclivage zum Unterschied von Ausweichungslivage. Bei Mikroclivage wird jedes Teilchen durch Clivage verändert, während beim Ausweichungslivage innerhalb grösserer Gesteinsschuppen die ursprüngliche Mikrostruktur unverändert bleibt.

Für unsere Untersuchungen lagen nur Schriffe senkrecht zur Schichtung vor; die unsererseits beobachteten Erscheinungen stimmen aber mit den oben citierten so gut überein, dass an der Thatsache, in den Mittelschenkeln liege auch Mikroclivage vor, nicht zu zweifeln ist. Unsere Präparate bieten noch den Vorteil, den allmählichen Uebergang der ursprünglichen „Zuckerstruktur“ zum ausgesprochenen Mikroclivage deutlich verfolgen zu können,

Im Dolomit liegen unregelmässig zerstreut eine Menge Krystallaggregate von Hämatit, oft gut und deutlich in rötlichen, gelben Täfelchen, oft unregelmässig punktförmig verteilt. Immerhin ist zu bemerken, dass in den gequetschten Schenkeln mehr Hämatitkryställchen zu finden sind, als an den Umbiegungsstellen und dass sie sich in den ersteren in mehr streifenförmiger Anordnung vorfinden, welche Erscheinung wohl mit dem Auswalzen der Mittelschenkel zusammenhängt.

In den Schenkelpartien liegt eine Facies lentikularer Textur vor; die Dolomitbänder wie die Thonschieferschichten sind stark gepresst; oft keilen sie sich aus; an einzelnen Orten umschliessen langgezogene Glimmerpartien noch einzelne Dolomitschichtchen; an andern Orten wiegt Dolomit vor und in demselben sind umgekehrt kleine Schieferlinsen eingeschlossen. Sehr oft wechseln linsenförmige Dolomitpartien mit analogen aus Thonschiefer.

Es wurde bereits oben die Vermutung ausgesprochen, dass das zuckerartige Gefüge der Dolomitmasse eine gewisse „Gelenkigkeit“ verleihe, die eine innerhalb bestimmter Grenzen sich vollziehende Umformung ohne Bruch gestatte. In den allermeisten Fällen genügte anscheinend diese Eigenschaft, den unter hohem Gebirgsdruck wirkenden Horizontalschub auszulösen. Bruchstellen sind eine seltene Erscheinung, kleinere Risse an den Umbiegungsstellen etwas häufiger; sie sind nicht geradlinig begrenzt, sondern die Trennungslinien folgen den Umrissen der Kryställchen; auch

sind solche kleine Risschen schon während ihres Entstehens wieder mit einzelnen grössern Dolomitkryställchen oder mit Quarzsekretionen ausgefüllt worden.

Vollständiger Bruch des Dolomitbandes ist mir nur in einem einzigen Falle bekannt. Ueber und unter der Bruchstelle sind die Schieferschichten intakt geblieben und zeigen die gewöhnlichen typischen Faltungerscheinungen. Die Bruchstelle ist wieder mit Dolomitsekretionen ausgefüllt; auch Quarzkörner traten in die Lücke ein. Die als Sekretion abgesetzten Quarz- und Dolomit-Kryställchen sind in ihrer Gestalt unverändert geblieben; Quarz löscht nicht undulös aus. Es ist daraus zu schliessen, dass dieser Bruch erst gegen Ende der Faltung entstanden sein wird. Er bildet aber, wie schon bemerkt, eine Ausnahme und wurde nur der Vollständigkeit halber hier noch erwähnt.

Die einzelnen Dolomitkryställchen an der Grenze von Dolomitband und Quarzsekretionen bilden eine Erscheinung für sich. Die Begrenzungslinie der Dolomitschichtchen, der äussere sowie der innere Rand sind scharf, sie bilden meist mehr oder weniger schön geformte Bogenlinien. An diese schliessen sich, in die Quarzsekretionen eingebettet und von diesen oft ganz umgeben, grosse, hie und da krystallographisch sehr schön und gut umgrenzte Dolomitindividuen. Sie liegen einzeln isoliert; in den wenigsten Fällen berührt das eine das andere; sie sind länglich, mehr oder weniger parallel gestellt und nehmen dabei die Richtung des Ausweichens, d. h. des Minimaldruckes ein. Der Grad der Vollkommenheit ihrer Ausbildung ist selten symmetrisch zur Axe der Falte. In den meisten Fällen sind sie auf der einen Seite bedeutend schöner und grösser als auf der andern. Sehr schön ausgebildet kann man sie an mehreren Umbiegungsstellen finden. Auf die Frage, wie diese einzelstehenden Dolomitkryställchen entstanden sind, werden wir noch zurückkommen.

**3. Die Quarzsekretionen.** Zwischen den Thonschiefer- und Dolomitschichten finden sich in der Region des Biegungsscheitels scheinbar klaffende Schichtfugen; bei  $\times$  Nicols aber stellt sich heraus, dass diese Räume dicht durch Quarz ausgefüllt sind, der lückenlos in alle Ecken und kleinsten Winkel eingedrungen ist. Dieses Auftreten weist deutlich darauf hin, dass er hier nicht primär sein kann, sondern Sekretionen bildet. Er ist immer nur da zu

treffen, wo sich ein Hohlraum, eine Fuge hätte bilden können. Es ist darum zu erwarten und auch den Thatsachen vollständig entsprechend, dass sich in den gequetschten Mittelschenkeln niemals Quarz vorfindet. Von den Umbiegungsstellen gegen die Schenkel hin keilt er sich aus und fehlt vollständig in den gepressten Partien der Schenkel. Die einzelnen Quarzindividuen sind länglich und lassen alle Uebergänge von normaler bis zur stark undulösen Auslöschung erkennen. Sehr interessant ist die Lage der einzelnen Krystalle. Alle Fältelchen einer ganzen Region zeigen die gleiche Orientierung der Sekretionskrystalle. Stellen wir z. B. eine Umbiegung, so wie es Fig. 13, Tafel VIII zeigt, so finden wir bei dieser wie bei allen konvex nach oben gerichteten die Quarze auf der linken Seite der Faltenaxe stets stark gebogen.

Zwischen dem äussern Bogen der Schieferschichten und dem innern Bogen der Dolomitpartie befindet sich die Umbiegungsstelle links, das Knie derselben schaut gegen den Mittelschenkel; zwischen dem innern Bogen der Schieferschichten und dem äussern Bogen der Dolomitpartie ist das Knie der gebogenen Quarzkrystalle gegen rechts, also gegen den Gewölbescheitel gerichtet.

Auf der ganzen linken Seite sind diese Verhältnisse sehr gut ausgeprägt. Auf der rechten Seite kann die gleiche Erscheinung wohl noch beobachtet werden. Sie nimmt aber vom Gewölbescheitel an rasch ab und ist bald nicht mehr zu verfolgen. Die Quarzpartie einer Falte ist also ganz unsymmetrisch gebaut. In einem und demselben Schriff verhalten sich alle diese Quarzsekretionen gleich. Nie trifft man die Erscheinung, dass linke und rechte Seite ihre Rolle vertauscht hätten.

Wir haben bis jetzt eine kurze Uebersicht über die mineralogische und texturale Beschaffenheit der drei Hauptelemente unserer Dünnschliffe gewonnen und wollen nun versuchen, eine Erklärung dieser Verhältnisse, besonders der interessanten Unsymmetrie im Auftreten der einzelnen Dolomitkryställchen und der Quarzsekretionen zu geben.

Vor Beginn des Zusammenschubes der Erdrinde lagen die Schichten horizontal; Schichtchen von Dolomit wechselten mit Schichtchen von Thonschiefer. Die ganze Zone war bedeckt mit Quartenschiefer, Jura, Kreide und Eocaen, d. h. mit einem

Schichtenkomplex von über 1000 m Mächtigkeit. Der Prozess des Horizontalschubes begann; die äussern Schichten stauten sich in Falten mit mehreren 100 m Radius. Innern Schichten war diese Art des Ausweichens unmöglich, die darüber liegende Last war zu gross, als dass sie in ähnlichen Dimensionen hätten gefaltet werden können. Die herrschende und immer zunehmende Spannung der Erdrinde musste auf andere Weise gelöst werden. Wäre das Material ein homogenes gewesen, z. B. ein dichter Kalkstein, so würde senkrecht zum Maximaldruck einfaches Mikroclivage entstanden sein, wie z. B. im dichten Hochgebirgskalk im Meyenthal, Uri (A. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung II, pag. 54). Da das Material aber nicht homogen war, sondern aus abwechselnden Schichten von mehr oder weniger panidiomorph-körnigem Dolomit einerseits und feinschieferigem Thonschiefer andererseits, also aus zwei mechanisch sich verschieden verhaltenden Gesteinsmassen bestand, bildeten sich kleine Falten; eine schloss sich an die andere an, oft hunderte auf einige Meter Distanz. Gewölbe-, Mittel- und Muldenschenkel der einzelnen Falten wurden durch den Druck parallel gestellt. Gewölbe- und Muldenumbiegungen wichen in der Richtung des Minimaldruckes nach oben und unten aus; die Schenkel wurden gepresst, gequetscht. Sie wurden immer dünner, die Umbiegungsstellen immer mächtiger. Der Thonschiefer begann sekundäre Fältelchen, Mikrofallen zu bilden, die anfänglich mehr oder weniger senkrecht zum Radius der Falten gestellt waren. Zwischen den einzelnen Thonschiefer- und Dolomitbändern bildeten sich durch fortgesetzten Zusammenschub und durch fortwährendes Ausweichen in der Richtung des Minimaldruckes kleine Fugen. Durch Sekretion von Quarz wurden aber diese Fugen wieder ausgefüllt. Infolge langen Andauerns dieses Vorganges wuchsen die anfänglich kleinen Quarzsekretionen allmählich zu grössern länglichen Krystallindividuen an, deren Längsaxen in der Richtung des Minimaldruckes gestellt waren. In der grossen Mehrzahl der Fälle sind die Quarzkrystalle so orientiert, dass ihre c-Axe mit der Richtung grösster Ausdehnung zusammenfällt. Neben Quarzsekretionen haben sich auch neue Dolomitkrystalle gebildet, die in analoger Weise wie die Quarze gewachsen sind; sie nahmen ihren Anfang an der Grenze von Dolomitschichtchen und Quarzpartien und wuchsen nach und nach ganz in diese hinein. Hie

und da wurden sie vom Muttergestein auch ganz abgelöst und gerieten dann in die Quarzsekretionen. Dolomitkryställchen sowie Quarzindividuen sind allmählich entstanden; ihr Wachstum war mit dem Stauungsprozess enge verknüpft und ging wie dieser enorm langsam vor sich.

Die Mikrofallen des Thonschiefers wurden allmählich steiler gestellt; der anhaltende Druck suchte sie der Ausweicherichtung parallel zu stellen. An einzelnen Orten ging dadurch die Schichtung nach und nach verloren und machte Verschiebungsflächen Platz; es entstand eine Transversalschieferung (Clivage).

Nehmen wir einmal an, die Ausweicherichtung stehe senkrecht zum Maximaldruck und denken wir uns in ersterer Richtung eine Axe durch die Falte gelegt, so müssen bei Ausschluss störender Umstände beide Seiten der Falte symmetrisch gebaut sein. Symmetrisch verhalten sich in unsern Schliften aber nur die zusammenhängenden Dolomitschichten; die Thonschieferschichten und die Dolomitsekretionen sind nur zum Teil symmetrisch; die Quarzpartien vollständig unsymmetrisch.

Diese Thatsachen zwingen zur Annahme, dass die Ausweichungsrichtung nicht senkrecht zum Maximaldruck stehen konnte, sondern dass sie mit demselben einen etwas kleineren Winkel bildete. Nehmen wir an, sie liege wie in Fig. 13, Tafel VIII angegeben, in der Richtung von links unten nach rechts oben, weiche aber nicht sehr stark von der eines rechten Winkels ab. Die Schenkel der Dolomitbänder werden durch diese Aenderung in ihrer Lage wenig oder meist gar nicht betroffen. Sie bleiben nach wie vorher symmetrisch zur Axe der Falte. Nicht so die Thonschiefer; die Mikrofallen auf der linken Seite werden in ihrer Richtung geändert, gedreht wie der Zeiger einer Uhr, und suchen sich der Ausweichungsaxe parallel zu stellen. Ihr äusserer Rand wird nach rechts oben, ihr innerer Rand in umgekehrter Richtung nach links unten bewegt. Durch diese Drehung wurde unausgesetzt Platz geschaffen für neues Wachstum der Quarzkrystalle. So wuchsen sie als Sekretionen in die Länge, aber nicht in einer geraden Linie, sondern sie nahmen Bogengestalt an. Oft trat der Fall ein, dass solche gebogene Quarzindividuen durch weitem Gebirgsdruck nachträglich wieder beansprucht wurden; dann löschen sie undulös aus. Oft aber konnten sie die einmal durch stetes

Wachstum erhaltene Gestalt auch beibehalten; bei solchen ist keine undulöse Auslöschung bemerkbar. Hat die Ausweichebewegung oben genannte Richtung eingeschlagen, so wird die unsymmetrische Stellung der Quarzsekretionen leicht erklärlich. Die durch den Horizontaldruck erzeugte Ausweichebewegung wirkt auf der linken Seite unter steilem Winkel auf die Schenkel der Mikrofallen und sucht sie zu sich selbst parallel zu stellen. Von der Umbiegung an nach rechts wird dieser Winkel immer kleiner, die Tendenz zur Verschiebung deshalb schwächer. Findet aber auf der rechten Seite diese allmähliche Drehung der Thonschieferschichten nicht statt, so ist auch das Wachstum der sich ausscheidenden Quarze kein bogenförmiges, sondern ein geradliniges. Dass die Mikrofallen auf der rechten Seite schliesslich doch eine steilere Parallelstellung annehmen, ist weniger dem Ausweichen, als der direkten Pressung zuzuschreiben.

Nach all diesen Erscheinungen ist zu schliessen, dass der Horizontalschub der Erdrinde nur sehr langsam ausgeglichen wurde. Alle Phasen und Arten der Bewegungen sind enge aneinander geknüpft und die eine durch die andere bedingt. Durch lokale Zufälligkeiten: z. B. Heterogenität des Materials, Veränderung der Richtung der Druckkraft, sind die einzelnen Falten in ihrer Gestalt unter sich oft verschieden; die oben angegebenen Charaktermerkmale aber sind bei allen mehr oder weniger gut ausgeprägt. Spalten konnten sich nicht ausbilden; sobald irgend welche Anlage dazu vorhanden war, drang Quarzlösung von den am stärksten gepressten Stellen weg an die Zugstellen hin, um sofort auszufüllen. Die Sekretion ging der Faltung und Stauung parallel.

---



Fig. 1  
1/5



Fig. 2  
1/2

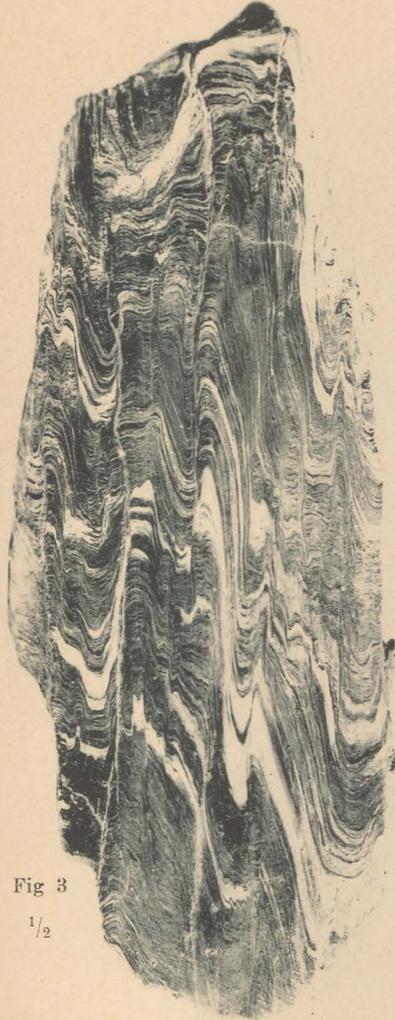


Fig. 3  
1/2

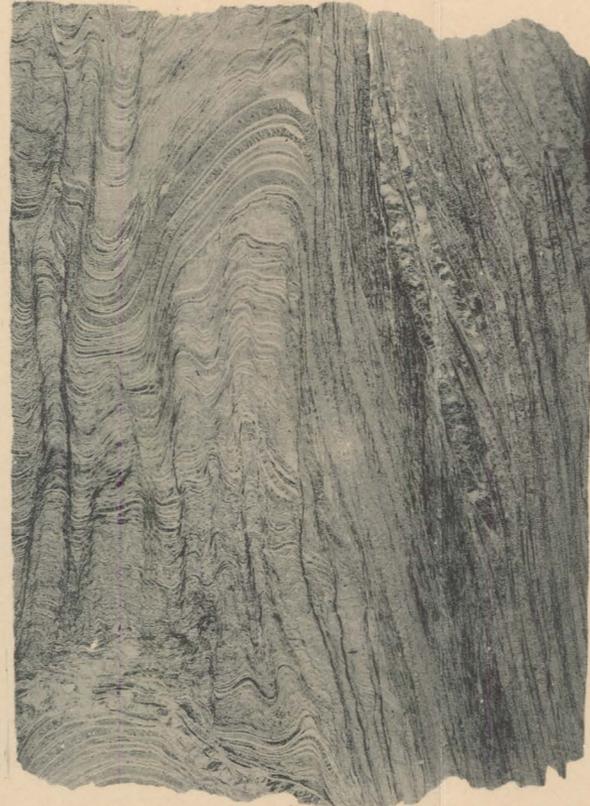


Fig. 4 2/1

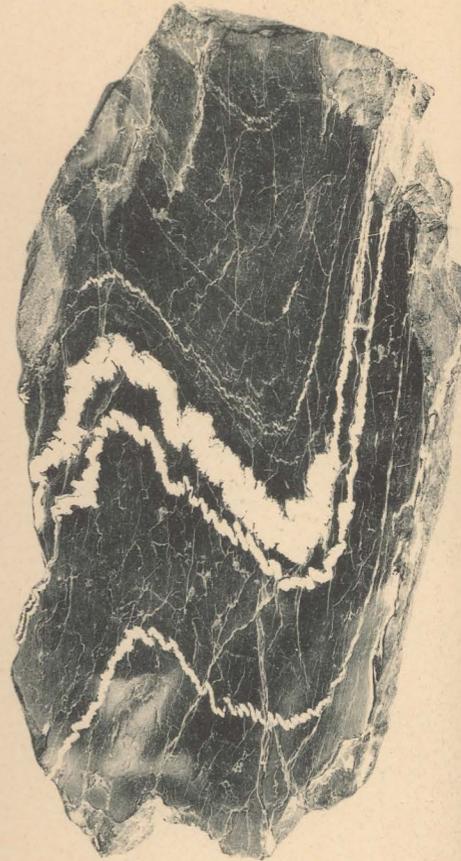


Fig. 8 1/2



Fig. 9  
1/2



Fig. 5  
2/1

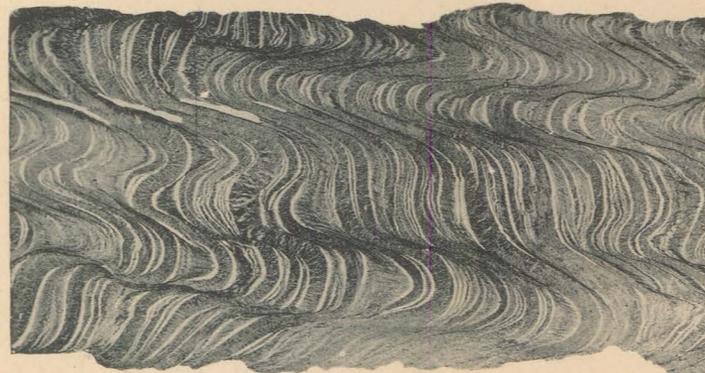


Fig. 6 2/1

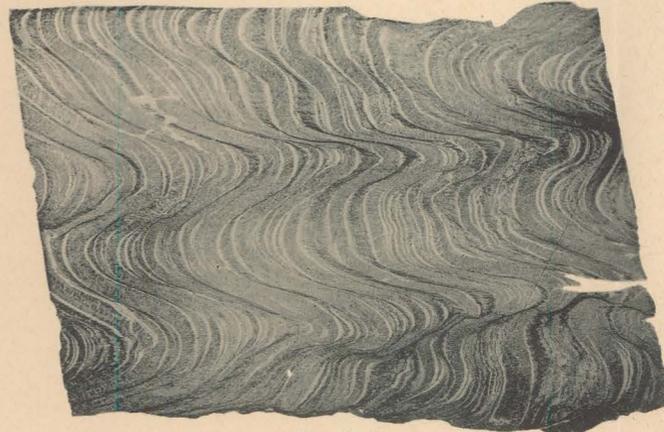


Fig. 7 2/1

Fig. 1 Gneiss, Dazio Grande.  
Fig. 2—7 Piz Urлаun — Puntaiglas-  
gletscher (Röthidolomit —  
Quartenschiefer).  
Fig. 8 u. 9 Malmkalk von Windgälle  
(Uri).

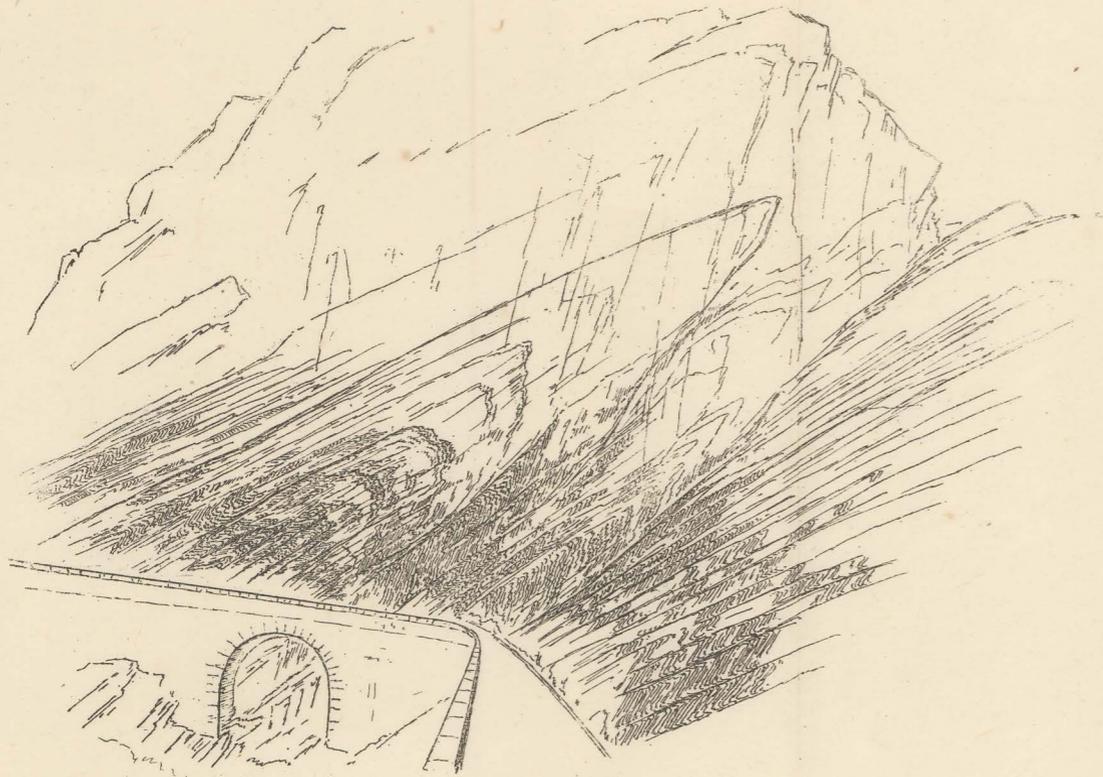


Fig. 1 Gefaltete Gneisschieferung mit Plattung, Schlucht von Dazio Grande, Tessin.

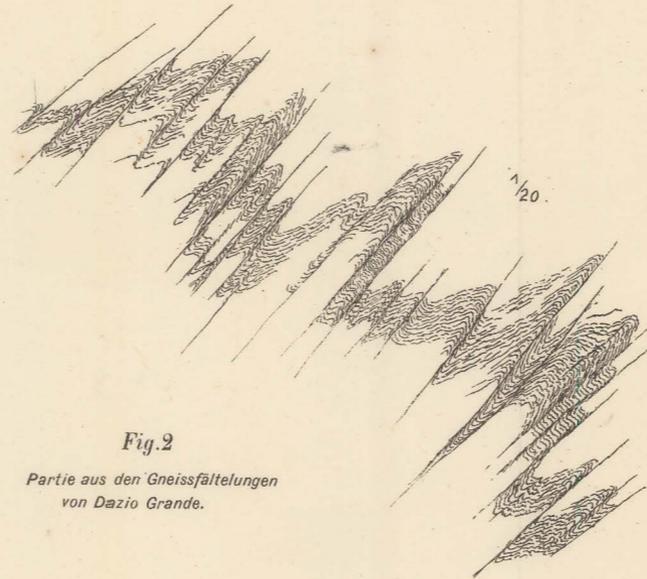


Fig. 2  
Partie aus den Gneissfaltungen  
von Dazio Grande.

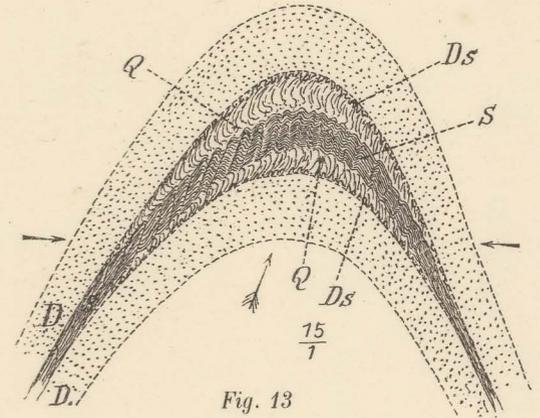


Fig. 13  
D-Dolomit, Ds-Dolomitsecretion  
S-Schiefer, Q-Quarzsecretion

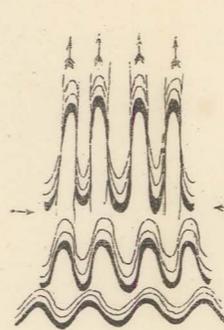


Fig. 6

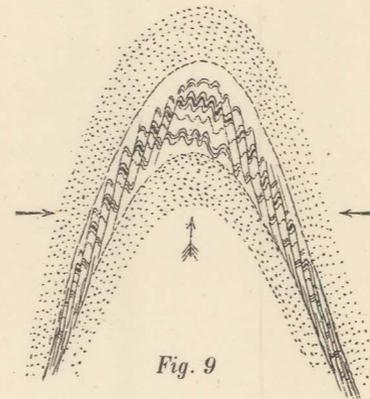


Fig. 9

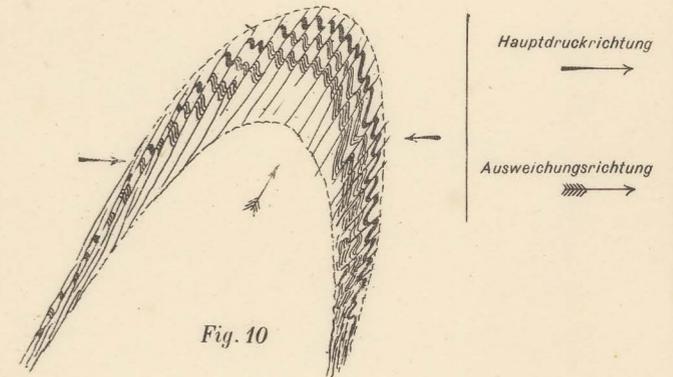


Fig. 10



Fig. 4



Fig. 5

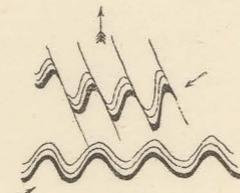


Fig. 7



Fig. 8

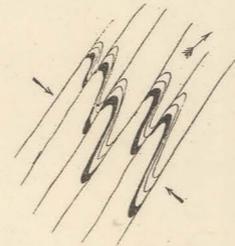


Fig. 11

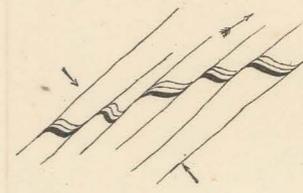


Fig. 12

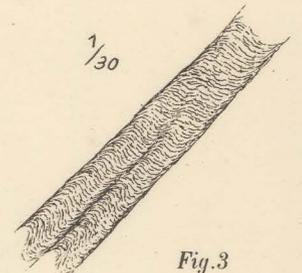


Fig. 3