

Über Ausweich-Bewegungen in Mulden.

Von Hans Becker, Leipzig.

Mit 4 Textabbildungen.

„Eine wesentliche Vorbedingung für Faltung ist Schichtung des zu faltenden Gesteins.“ Dieser Satz ist immer wieder von Theoretikern der Gebirgsbildung betont worden, es sei nur an CLOOS, HERITSCH, LEITH, SANDER, W. SCHMIDT, SCHWINNER, VAN HISE erinnert. Die Bedeutung der Schichtung liegt darin, daß durch sie Schwächezonen gebildet werden, an denen Ausweichbewegungen vor sich gehen können.

Eine einfache Überlegung wird diesen Grundgedanken der nachfolgenden Erwägungen klarmachen. Wir betrachten einen Schichtenstoß, der zu einer Mulde zusammengebogen wird (Abb. 1). Im

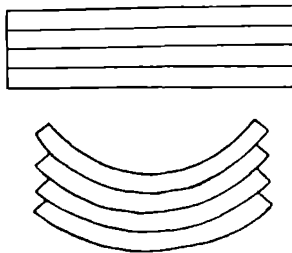


Abb. 1. Bei Faltung flachliegender Schichten (oben) müssen die hangenden Schichten beiderseits über die liegenden herausgleiten (unten).

Trog, den die tiefste Schicht bildet, haben die darüber folgenden nicht genügend Platz, sie müssen notgedrungen nach den Seiten ausweichen. An jeder Schichtfläche wird also eine Gleitbewegung stattfinden; in der Mitte der Mulde ist sie nur geringfügig, aber je weiter wir uns nach den Schenkeln zu entfernen, zu desto größeren Beträgen hat sich die Verschiebung summiert.

Betrachten wir den Fall, daß recht dicke und harte Schichten durch wenig mächtige Zwischenmittel getrennt werden, etwa Quarzite mit dünnen Schieferlagen. Dann wird sich das Hauptmaß der Ausweichbewegung auf die wenigen Schichtfugen und die dünnen Schieferlagen konzentrieren. Die Beanspruchung wird hier besonders stark sein, und es werden bei geeignetem Material nicht nur Bewegungen parallel den Schichtflächen auftreten, sondern nach einem bekannten physikalischen Gesetz wird schräg zu diesen ein zweites System von Bewegungsflächen ausgebildet, das vom Geologen als Transversalschieferung bezeichnet wird.

Diese Schieferungsflächen stehen nun in einem interessanten Verhältnis zur Achsenebene der Mulde (oder auch des Sattels): sie sind ihr ungefähr parallel. Dieser Erfahrungssatz läßt sich auch durch eine einfache mechanische Überlegung als notwendig erweisen.

Die Deformation eines Gesteins kann man sich mit Hilfe eines Deformationsellipsoids oder (im Profil gesehen) einer Deformationsellipse anschaulich machen (Abb. 2). Man erhält sie, indem man dem ursprünglichen, noch nicht deformierten Körper eine Kugel (einen Kreis) einzeichnet und ihn dann der zu betrachtenden Deformation unterwirft. Dabei wird die Kugel (der Kreis) zu einem Ellipsoid (einer Ellipse) verändert, eben dem Deformationsellipsoid.

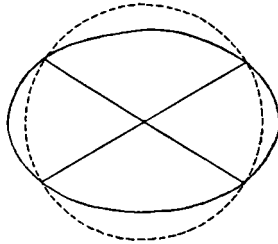


Abb. 2. Bei Deformation eines Kreises (gestrichelt) zu einer Ellipse bleiben zwei Durchmesser unverändert. Beim Ellipsoid entsprechen sie den beiden Kreis-Hauptschnitten.

In diesem gibt es nun zwei bevorzugte Flächen, die selber keine Verzerrung erlitten haben: das sind die beiden Kreishauptschnitte, die bekanntlich in jedem Ellipsoid vorhanden sind. Sie waren vor der Deformation Kreise (in der Kugel sind alle Hauptschnitte Kreise) und sind es auch nachher geblieben. Da ihre Form also keine Veränderung erfährt, müssen die stärksten Verschiebungen ihnen parallel erfolgen: sie geben die Lage der beiden Hauptscherflächen an. Sie werden meist einen spitzen Winkel miteinander einschließen, und zwar wird er — unter sonst gleichbleibenden Voraussetzungen¹ — um so spitzer sein, je mehr das Ellipsoid in die Länge gezogen ist, je stärker also die Deformation ist.

Auf unseren Fall angewandt: Die eine dieser Hauptscherflächen wird häufig die Schichtfläche sein, die andere erscheint als Transversalschieferung. In der Nähe der Umbiegung der Falte, wo die

¹ Der Winkel der Hauptscherflächen hängt vom Verhältnis aller drei Achsen des Ellipsoids ab. Da aber bei einer einfachen Falte, wie wir sie hier betrachten, in der Richtung der Faltenachse keine Längenänderung stattfindet, kann die ihr parallele mittlere Achse des Deformationsellipsoids ohne merkliche Fehler außer Betracht bleiben. Trifft diese Voraussetzung aber bei komplizierteren Faltungen nicht zu, so können auch unsere Betrachtungen nicht ohne weiteres auf diese Fälle übertragen werden.

Ausweichbewegung (wie schon erwähnt) ganz gering, ja an einer Stelle Null sein muß, stehen Schichtung und Schieferung senkrecht aufeinander. Je stärker aber die Ausweichbewegung wird, also nach den Schenkeln zu, desto spitzer wird der Winkel zwischen beiden. Dasselbe Verhältnis besteht aber auch zwischen der Achsenebene der Falte und der Schichtung: an der Umbiegungsstelle stehen sie ungefähr senkrecht aufeinander; weiter außen wird der Winkel immer spitzer. Aus dieser Übereinstimmung des wechselseitigen Verhaltens zwischen Schichtung und Schieferung einerseits und zwischen Schichtung und Achsenebene andererseits folgt, daß Schieferung und Achsenebene wenigstens ungefähr gleiche Richtung haben werden (Abb. 3).

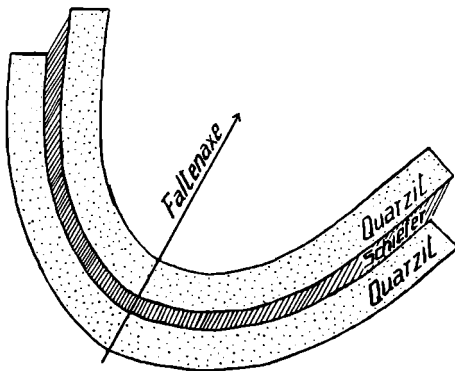


Abb. 3. Bei Faltung entsteht in einer Schieferlage zwischen zwei Quarzitbänken als Folge der Ausweichbewegungen eine Schieferung, die ungefähr parallel zur Faltenachse verläuft.

Diese allgemeinen Gedankengänge sind namentlich von VAN HISE und LEITH verfolgt worden, die dafür klassische Beispiele aus dem Präcambrium Nordamerikas beigebracht haben. LEITH hat sie eingehend in seinem Lehrbuch der Tektonik dargestellt und MEAD hat sinnreiche und dabei einfache Experimente zu ihrer Veranschaulichung angegeben.

Ihre Nutzenanwendung und allgemeine Gültigkeit konnte ich auf mehrjährigen Beobachtungen im variskischen Gebirge Sachsens und Thüringens und kürzlich auf einer Studienreise durch das armorikanische Massiv erproben. Sie scheinen mir einzelne tektonische Fragen in helleres Licht zu rücken, und andererseits glaube ich, sie in einigen Punkten ergänzen und erweitern zu können.

Die Ausweichbewegungen können zur Folge haben, daß dabei ein Schichtglied oder mehrere unterdrückt werden. An einer anderen Stelle kann gerade die entgegengesetzte Folge eintreten: es können Verdoppelungen der Schichtfolge entstehen. Für beide Fälle bietet

die Mulde von Laval (Departements Mayenne und Sarthe) typische Beispiele.

Sie ist eine der Ost—West streichenden paläozoischen Mulden des armorikanischen Massivs. Die Schichtfolge reicht vom Carbon herab bis zum Cambrium, das mit ausgeprägter Winkeldiskordanz dem Algonkium aufliegt. Drei Horizonte sind als besonders aushaltende und kompetente Glieder wichtig: der armorikanische Sandstein an der Basis des Ordoviciums, der unterdevone Sandstein mit *Orthis monnieri* und die carbonen Kalke.

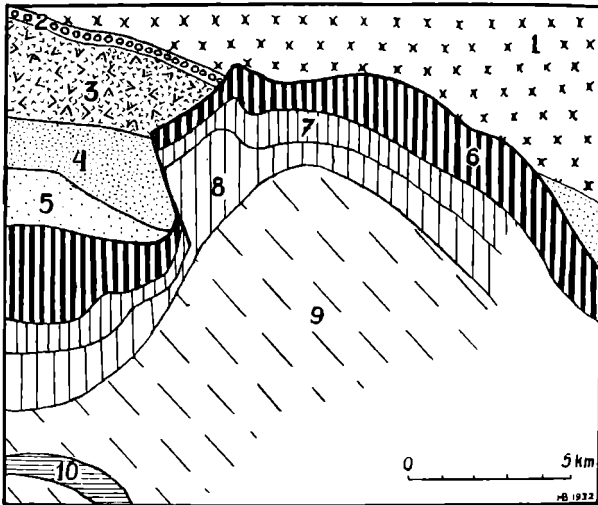


Abb. 4. Geologische Skizze der Abscherungsdecke der Petite Charnie am Nordrand der Mulde von Laval (Frankreich) 1 : 240 000. 1 = Algonkium. 2—5 = Cambrium: 2 = Basaltkonglomerat (Poudingue pourpre), 3 = Schiefer und Dolomit, 4 = Sandstein von Sainte-Suzanne und Eruptivbreccien, 5 = Hangende Sandsteine. 6 = Armorikanischer Sandstein (Unt. Ordovicium). 7 = Höheres Ordovicium. 8 = Obersilur. 9 = Devon. 10 = Carbon. (Nach OEHLERT, 1909.)

Im Nordosten des Gebietes, in der Petite Charnie, ist nun, wie Abb. 4 nach der OEHLERT'schen Aufnahme deutlich zeigt, der armorikanische Sandstein mit seinem Hangenden über die verschiedenen Schichtglieder des Cambriums nach Norden hinweggeglitten und kommt teilweise direkt auf Algonkium zu liegen. Ein Steinbruch in höheren ordovicischen Schichten zeigt deutlich die Gewalt dieses Vorgleitens. Ein zweites Beispiel finden wir nahe dem Muldenkern, wo unweit Sablé die Unterlage des Carbonkalkes ausgequetscht ist. Hier ließ sich — wie OEHLERT berichtet — feststellen, daß sich in der Tiefe die Schichtfolge vervollständigt. Die Erscheinung ist

also auf den Muldenschenkel beschränkt, da hier die Ausweichmöglichkeiten besser wurden und zugleich sich der Raummangel stärker bemerkbar machte.

Diese geschilderten Störungen gehören zum Typus der *Vorschiebungen*. Im Gegensatz zu *Überschiebungen*, bei denen ältere Schichten auf jüngere geschoben werden, bewegen sich bei *Vorschiebungen* jüngere Schichten über ältere. Es ist dies ein ungemein häufiger Fall in allen Gebirgen, nur weniger auffällig und daher nicht so oft beschrieben wie die eigentlichen *Überschiebungen*. In ihrer Rolle im Gebirgsbau sind *Überschiebungen* und *Vorschiebungen* nicht grundsätzlich zu trennen.

Das sehen wir auch bei den soeben betrachteten Ausweichbewegungen in der Mulde von Laval. Zwischen den schon erwähnten *Vorschiebungen* des Carbonkalks am Südflügel und des armorikanischen Sandsteins am Nordrand liegt eine ausgesprochene *Überschiebung*: der unterdevonische Sandstein ist verdoppelt, und bei Juigné liegt die untere Schuppe sogar auf carbonen Gesteinen einer Nebenmulde.

Für sich betrachtet ist jede dieser Vor- und *Überschiebungen* verhältnismäßig unbedeutend. Sie gewinnen Interesse lediglich dadurch, daß sie zusammen mit zahlreichen anderen, hier unerwähnt gebliebenen, zeigen, in welcher Weise die Ausweichbewegungen in einer einfach gebauten Mulde wie die von Laval verlaufen.

Etwas verwickelter ist das Bild in der Abscherungsdecke der Vilaine (südlich Rennes), die KERFORNE studiert und beschrieben hat. Sie schließt sich nördlich an die tief eingefaltete Mulde von Saint-Julien-des-Vouvantes an und ist dadurch ausgezeichnet, daß das Cambrium durchweg mit abnormalem Kontakt dem Algonkium auflagert; die Transgressionsfläche an seiner Basis ist bei der Faltung wieder aufgelebt und als Abscherungsfläche verwandt worden. Das Cambrium ist energisch transversal geschiefert. Der armorikanische Sandstein in seinem Hangenden ist seinerseits wieder vorgeschoben worden und kommt manchmal auf Cambrium, manchmal auf Algonkium zu liegen. Diese früher als Transgression des Ordoviciums aufgefaßten Verhältnisse haben sich nach KERFORNE als rein tektonisch bedingt erwiesen.

Man kann daran denken, daß diese Abscherungsdecke verursacht wurde durch den Raummangel in der scharfen Mulde von St. Julien, aus der die höheren Schichten herausgepreßt wurden. Dabei haben sie ein gutes Stück ins Vorland hinaus — wohl dreißig Kilometer weit — die hier recht flach lagernden Schichten mit betroffen und nach Norden vorgeschoben. Zwei Tatsachen aber lassen es bedenklich erscheinen, die Tektonik hier lediglich als Ausweichbewegungen in einer Mulde deuten zu wollen. Und zwar einmal das große Ausmaß dieser Bewegungen — in der Mulde von Laval haben wir sie bedeutend geringfügiger kennengelernt — und dann

die Einseitigkeit: die Bewegung ist nur nach Norden gerichtet, im Süden fehlt ein entsprechendes Gegenstück. Man wird hier nicht umhin können, mit einer von außen wirkenden zweiten und sicherlich bedeutsameren Ursache zu rechnen. KOSSMAT hat in anderem Zusammenhang auf eine solche Möglichkeit hingewiesen.

Wir lernen hieraus: Die von uns studierten Ausweichbewegungen sind zwar in allen Mulden zu erwarten, aber keineswegs dürfen wir sie als die einzigen in Faltengebirgen möglichen Vorgänge ansehen. Es wird im gegebenen Einzelfall festzustellen sein, welche Erscheinungen auf ihre Rechnung gesetzt werden können und welche nicht. Wir werden dann leichter das Vorhandensein und das Ausmaß großräumiger Bewegungen erkennen können.

Als Ausweichbewegungen in Mulden sind — um noch ein weiteres Beispiel anzuführen — auch die Längsstörungen im Mittelböhmischen Paläozoicum zu erklären, die u. a. die bekannten „Kolonien“ verursacht haben. In der Prager Mulde bestehen die jüngeren Schichten (höheres Obersilur und Devon) größtenteils aus Kalken, die als widerstandsfähigere Schicht bei der Entfaltung der Mulde aus Raummangel seitlich herausglitten. Die darunterliegenden Schiefer des tieferen Obersilurs und obersten Ordoviciums wirkten dabei als Schmiermittel, in dem sich kleine Verschuppungen bildeten: die schon von BARRANDE beobachteten „Kolonien“ obersilurischer Graptolithenschiefer im unteren Silur. Es ist dies nicht der einzige Bewegungshorizont; auch in den hangenden Kalken kommt es zu derartigen Verschiebungen: Auf dem Südflügel sind sie südwärts gerichtet, auf dem nördlichen nordwärts — ein deutlicher Beweis, daß hier die Bewegungen an die lokalen Vorgänge in einer sich bildenden Mulde gebunden sind.

Die vorgetragenen Überlegungen über das Auftreten von Schieferung bei den Ausweichbewegungen in Falten berühren sich mit einem in letzter Zeit vielfach erörterten Problem (CLOOS, LOTZE, SCHOLTZ u. a.): der Beziehung von Schieferung und Faltung. Wir haben bei unserer Betrachtung einen Fall kennengelernt, wo beide zweifellos gleichzeitig und genetisch verbunden sind. Es handelt sich allerdings zunächst nur um Vorgänge in dünnen, weichen Zwischenschichten.

Wir können aber noch einen Schritt weiter gehen und das Folgende überlegen: In einem gefalteten Gestein sind nach dem Gesagten zwei Systeme von Scherungsflächen entwickelt: die Schichtflächen und die Schieferung. Die Schichtflächen sind zu Beginn der Bewegung im allgemeinen eben und werden leicht als Gleithorizonte dienen können. Im Laufe der Faltung werden sie aber immer stärker verbogen, so daß sie immer ungeeigneter zur Aufnahme von Bewegungen werden. Anders die Schieferungsflächen. Zu Beginn sind sie vielleicht nur in einigen wenigen Horizonten vorhanden, sie werden aber bei der Weiterdauer der Faltung die Tendenz

haben, sich weiter zu entwickeln. Sie bleiben, solange die faltende Kraft sich nicht stark ändert, eben, und — was besonders wichtig ist — sie weisen ins Freie hinaus. So werden die Bewegungen sich immer mehr auf sie konzentrieren und auf ihnen andauern, wenn die Faltung schon erloschen ist. Die Schieferung beginnt in diesem Falle nicht später als die Faltung, aber sie überdauert sie.

Diese Vorgänge scheinen mir beachtenswert im Hinblick auf das häufige Übereinstimmen von Schieferung und Faltenachsen. In vielen Fällen wird dies weniger darauf zurückzuführen sein, daß die Richtung der Bewegung über lange Zeiträume die gleiche blieb, als darauf, daß die allererste Anlage der Schieferungsflächen bereits zur Zeit der Faltung stattgefunden hat.

Literatur-Hinweise.

- BORN, A.: Über Druckschieferung im varistischen Gebirgskörper. Fortschr. d. Geol. u. Pal., 7, H. 22, 1929.
- CLOOS, HANS und MARTIN, HENNO: Der Gang einer Falte. DEECKE-Festschrift, Fortschr. d. Geol. u. Pal., 11, 1932, S. 74.
- KERFORNE, F.: Étude tectonique de la région silurienne au sud de Rennes (Nappe de la Vilaine). Bull. Serv. géol. de France, 23, No. 139, 1919.
- KOSSMAT, FRANZ: Das Problem der Groß-Überschiebungen im variskischen Gebirge Deutschlands. Dies. CBl. 1931, B, S. 577 (auf S. 593).
- LEITH, C. K.: Structural Geology. 2. Aufl. New York 1923.
- LOTZE, FRANZ: Über Beziehungen zwischen Faltung und Schieferung. Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl., 1932, S. 113.
- MEAD, WARREN J.: Notes on the Mechanics of Geologic Structures. Journ. of Geol., 28, 1920, S. 505.
- OEHLERT, D.-P.: Livret-Guide de la Réunion extraordinaire de la Société géologique de France dans la Mayenne et la Sarthe. Laval 1909. Vgl. auch Bull. Soc. géol. de France 1909.
- SCHMIDT, WALTER: Tektonik und Verformungslehre. Berlin 1932.
- SCHOLTZ, HERMANN: Über das Alter der Schieferung und ihr Verhältnis zur Faltung. Jahrb. preuß. geol. Landesanst. 52, 1931, S. 303.

Bei der Redaktion eingegangen am 15. Juli 1932.