

BECKE angegebene Auslöschungsschiefe von 20^0 der Wahrheit sehr nahe. 2. Die Auslöschungsschiefe auf der Fläche P wird von mehreren Autoren als größer angegeben, als sie in Wahrheit ist. Maximal dürfen wir die letzte Auslöschung als 4^0 annehmen (BECKE), aber ich halte es für wahrscheinlich, was allerdings auch schon O. GROSSPIETSCH bemerkt, daß diese Auslöschungsschiefe auf der Fläche P etwas kleiner wäre, nach meiner Ansicht nur $3,6—3,7^0$.

Aus dem min. u. petr. Institut der k. ung. Universität in Budapest.

Ein Belegstück zur Elastizitätstheorie der Faltung.

Von **E. Hungerer** in Freiburg i. B.

Mit 2 Textfiguren.

Um das theoretische Problem der Bildung von Faltengebirgen mit Hilfe der Elastizitätstheorie in Angriff zu nehmen, habe ich auf Veranlassung von Herrn Prof. J. KOENIGSBERGER zunächst experimentelle Untersuchungen über die Form gefalteter elastischer Platten angestellt. Die ersten Versuche wurden mit Kautschuk gemacht, weil dieses Material bei geringen Drucken große Verschiebungen zeigt und beinahe frei ist von elastischer Nachwirkung und von Plastizität. Elastische Nachwirkung nennt man die Erscheinung, daß die endgültige Form sich erst in einer gewissen Zeit nach Eintreten oder Aufhören der Spannungen einstellt. Plastizität oder elastischen Rückstand besitzt ein Körper, wenn er sich zwischen der Grenze der vollkommenen Elastizität und der Festigkeitsgrenze befindet; er kann dann durch geringe Spannungen, die genügend lange auf ihn einwirken, beliebig weit deformiert werden. Die erreichte Deformation geht nach Aufhören der Spannung nicht zurück. Dem Wesen nach dieselben Ergebnisse wie mit Kautschuk erhält man auch mit anderen rein elastischen Körpern, z. B. Stahl.

Zu den Versuchen wurden ursprünglich prismatische Kautschukplatten seitlichem Druck unterworfen. Ich nenne im folgenden die größte Dimension des Prismas (Platte), und zwar in Richtung der längsten Kante ihre Länge, der kleinsten Kante ihre Dicke, der mittleren ihre Breite (vgl. Fig. 1). Diejenigen rechteckigen Seitenflächen, die als Kanten die Länge und Breite haben, nenne ich in Anlehnung an geologische Begriffe Schichtflächen, diejenigen, welche die Breite und Dicke enthalten, Stirnflächen. Eine gerade Linie durch den Mittelpunkt (Schwerpunkt) des ursprünglichen Prismas parallel zu seiner Länge heiße Mittellinie, eine gerade Linie durch den Mittelpunkt parallel zur Breite Querlinie. Die durch Mittellinie und Querlinie gebildete Ebene heiße Mittelebene.

Wenn auf die Stirnflächen eines nicht gebogenen Prismas in Richtung der Mittellinie Drucke ausgeübt werden, ergibt sich in Übereinstimmung mit der Theorie keine Aufbiegung der Platte, sondern eine Vergrößerung von Breite und Dicke bei gleichzeitiger Verkürzung der Länge. Dies ist aber nur der Fall, wenn die Platte vollständig homogen ist und ihre Begrenzungsflächen eben sind. Bei schwacher Inhomogenität oder ursprünglicher, wenn auch nur geringer Durchbiegung der Mittelebene bewirkt aber der Druck auf die Stirnflächen die Biegung der Platte zu einer doppelt

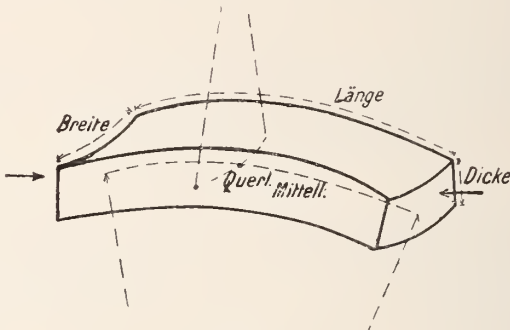


Fig. 1.

gekrümmten Form, die an einen Reitsattel erinnert. Die theoretische Berechnung gibt nur die erste Näherung dieser Form. Danach wäre das Verhältnis der beiden Krümmungen (von Mittellinie und Querlinie) konstant. Mittellinie und Querlinie werden dabei angenähert zu Kreisbögen gekrümmt, deren Ebenen aufeinander senkrecht stehen und deren Mittelpunkte zu entgegengesetzten Seiten der Mittelebene liegen¹.

Das Experiment ergibt aber, daß das Verhältnis der beiden Hauptkrümmungen (Krümmungen der Mittel- und der Querlinie) nicht genau konstant ist, sondern vom Verhältnis von Breite zu

¹ Die Ebene des Kreisbogens der Mittellinie (Radius ρ_h) ist parallel zu der im spannungsfreien Zustand ebenen Seitenfläche der Platte, die durch Länge und Dicke gebildet wird. Die Ebene des Kreisbogens der Querlinie (Radius ρ_a) ist der ursprünglichen Stirnfläche parallel; diejenigen geraden Linien, die im spannungsfreien Zustand der Querlinie parallel sind, werden ebenfalls Kreisbögen. Die Ebenen, in denen diese Kreisbögen liegen, gehen alle durch eine Gerade, die parallel zur Querlinie durch den Kreismittelpunkt der gebogenen Mittellinie gelegt wird. Das bedeutet, daß die zu den Stirnflächen parallelen Querschnitte eben bleiben und daß alle diese ursprünglich parallelen Ebenen nach der Biegung durch die erwähnte Gerade gehen. Ähnliches ist der Fall mit den Geraden, die der Mittellinie parallel sind. Das Ganze sieht einem Reitsattel ähnlich.

Dieke der Platte abhängt¹. Je größer dieses Verhältnis, desto geringer wird die Krümmung der Querlinie bei gleicher Krümmung der Mittellinie. Bei einem Streifen Papier wird z. B. die Krümmung der Querlinie kaum merkbar sein. Deutlich sichtbar wird sie bei einem schmalen Streifen dicken Kartons.

Auf den Vorgang der Gebirgsfaltung könnten die bisherigen Ergebnisse noch nicht ohne weiteres angewendet werden. Denn die Gebirgsfaltung ist im ganzen kein elastischer, sondern ein plastischer Vorgang, er geht nach Aufhören der Kräfte nicht zurück. Wohl aber sind während kurzer Zeiten die Teilvorgänge elastisch. Man muß sich die ganze Faltung als einen, verglichen mit der Plastizität der Gesteine, lange dauernden Prozeß vorstellen. Im ersten Moment des Eintretens der seitlichen Spannungen verhält sich das Gesteinsmaterial ihnen gegenüber elastisch. Wenn nun die Spannung längere Zeit unverändert anhält, paßt sich das innere Gesteinsgefüge der neuen Form an, d. h. es wird plastisch², und wenn der Druck aufhört, nachdem er sehr lange Zeit gewirkt hat, bleibt die Form, die das Gestein während des elastischen Vorganges angenommen hat, erhalten. Wenn aber der Druck nicht aufhört, sondern immer weiter um ein Weniges zunimmt, wird zunächst wieder eine elastische Verschiebung der Gesteinselemente die Folge sein. Nach genügend langer Dauer der Einwirkung wird auch die neue Form eine dauernd spannungslose. So kann man sich die ganze Faltung, bei der die Gesamtdrucke und demzufolge die Gesamtverschiebungen größer sind, als die Voraussetzungen der Elastizitätstheorie zulassen, durch elastische Teilvorgänge ersetzt denken, zwischen denen jeweils eine plastische Anpassung an die neu angenommene Form eintritt (J. KOENIGSBERGER).

Diese Annahme war nun durch das Experiment zu stützen. Es wurden deshalb weitere Versuche gemacht mit plastischem Material. Verwendet wurde weiches Eisen, Blech, Kolophonium mit Wachs vermischt, Pech und Butter. Die Plastizität der letzteren Stoffe konnte leicht durch die Temperatur geändert werden. Es zeigte sich, daß bei Drucken, die weit über die Elastizitätsgrenze hinausgingen, bei denen also die Verzerrung nach Aufhören des Druckes nicht wieder zurück ging, dieselbe Form eintrat wie bei

¹ Dieses Verhältnis ist nach der Theorie gleich der Poisson'schen Konstanten σ , dem Verhältnis von Querkontraktion zu Längsdilatation. Die doppelt gekrümmte Form war schon früher bekannt. Das Verhältnis der beiden Hauptkrümmungen war von CORNU zur Bestimmung von σ benützt worden (C. R. Ac. franç. 69. 333).

² Die Plastizität braucht kein eigentliches Fließen zu sein, sondern ist fast stets bei Gesteinen ein Zerbrechen unter Druck, wobei Verzahnung der Bestandteile eintritt (J. KOENIGSBERGER u. O. MORATH, Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 65. p. 82. 1913).

elastischen Stoffen innerhalb der Elastizitätsgrenze. Es ergab sich nämlich auch die reitsattelähnliche, doppelt gekrümmte Form.

Nun erhob sich die Frage: Ist diese Form bei den Gesteinsfaltungen in der Natur zu beobachten? Es müßte dann die Antiklinalenlinie, die Linie, welche die höchsten Punkte des Falten-sattels verbindet, nicht eine Gerade sein, wie dies wenigstens im großen annähernd der Fall zu sein scheint, sondern ein Kreisbogen, der nach den Rändern der gefalteten Schicht in die Höhe steigt.

In den Öztaler Alpen fand ich am Gipfel der Kreuzspitze ein Stück einer kleinen Gneisfalte, bei dem ausnahmsweise die

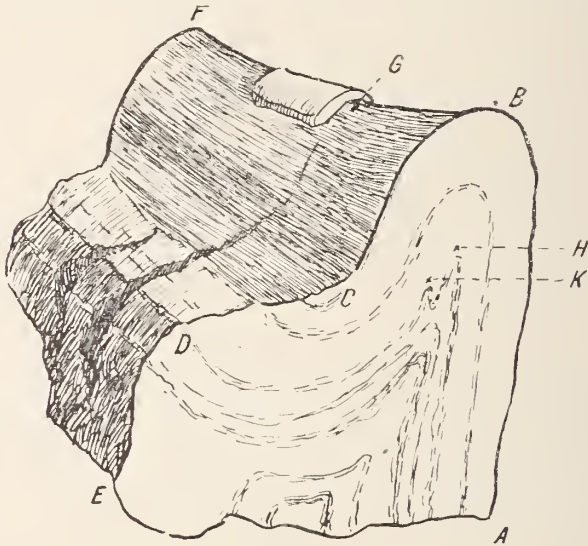


Fig. 2.

Antiklinalenlinie herausgewittert und frei sichtbar ist. Bei diesem Stück zeigt sich nun tatsächlich, daß die Antiklinalenlinie nach außen aufgebogen ist. Die Durchbiegung entspricht einem Kreis mit dem Halbmesser 45 cm.

Das Stück ist in der Fig. 2 dargestellt. Es bildet etwas mehr als eine halbe Faltenlänge. ABCDE ist der Querschnitt. Bei B ist der Faltensattel, bei C die Mulde. BGF ist die Antiklinalenlinie, die deutlich nach unten durchgebogen ist. Die Senkung beträgt bei G 0,9 cm, die Strecke BF 18 cm. Bei G ist noch ein kleiner Rest einer Schicht erhalten, die sonst infolge der Verwitterung verschwunden ist. Während die Verwitterung zwischen A und C eine Schichtfläche herausmodellirte (mit Ausnahme des kleinen Stückes bei G), ist die Fortsetzung der Falte in die benachbarte zwischen C und E quer zu den Schichtflächen abgebrochen. Die Linien im nicht schattierten Teil ABCDE bedeuten Biotitlagen.

Doch der gut erhaltene Teil ABC ist ein schöner Beleg für das oben Gesagte. Daß die 2. Krümmung, die von BGF, so gut wahrnehmbar ist, wie es die Theorie in der ersten Näherung verlangt, beruht hier auf der großen Dicke $BH = 3$ cm, der als einheitliche Schicht gefalteten Gesteinsmasse¹ verglichen mit ihrer Breite BF, die hier durch primäre, der Faltung vorausgegangene Quersprünge begrenzt und klein war. $BF : BH = 6$, also verhältnismäßig klein. — Es könnte noch der Einwand gemacht werden, daß eine sekundäre Faltung senkrecht zur ursprünglichen stattfand und daß dadurch die Antiklinalenlinie gekrümmt wurde. Die Theorie für einmalige Faltung verlangt, daß jedenfalls $\sigma \geq \varrho_h : \varrho_a \geq 0$ ist. Dies ist hier erfüllt; denn σ für Gesteine ist etwa $= 0,24$ (WINKELMANN, Mechanik. II. 581) und $\varrho_h : \varrho_a = 4 : 45 = 0,08$. Ich kann aber noch einen Schritt weiter gehen und, wenn man die für Kautschuk angestellten Messungen für Gneis zugrunde legen darf, ungefähr ermitteln, wie groß das beobachtete $\varrho_h : \varrho_a$ für das hier vorhandene Verhältnis von Breite zu Dicke sein soll. Bei Kautschuk und bei Gneis ergab sich nun beim gleichen Verhältnis von Breite zu Dicke ($= 6 : 1$) $\varrho_h : \varrho_a = \frac{1}{3} \sigma$, nämlich bei Kautschuk ($\sigma = 0,47$) $\varrho_h : \varrho_a = 0,17$, bei Gneis ($\sigma = 0,25$) $\varrho_h : \varrho_a = 0,08$. In beiden Fällen ist also das Verhältnis der Krümmungsradien der gleiche Bruchteil von σ für die betreffende Substanz.

Es entzieht sich meiner Kenntnis, ob die Aufbiegung der Antiklinalenlinie an den Rändern, wie sie das oben beschriebene Stück zeigt, deswegen sonst nicht bekannt ist, weil man noch nicht darauf geachtet hat, oder ob sie deswegen wirklich selten ist, weil in den Faltegebirgen die Breite der gefalteten Platten sehr groß ist im Verhältnis zur Dicke. In letzterem Fall muß, wie das Experiment ergab, die reitsattelförmige Aufbiegung senkrecht zur Hauptfaltung geringer werden als bei großer Dicke. Wenn die gefaltete Schicht als scheinbares Ganzes ziemlich dick ist, kann sie gleichwohl durch die bei der Faltung auftretenden Schubspannungen in mehrere dünne Schichten unterteilt werden. Für diese gilt dann, daß die Dicke klein ist im Verhältnis zur Breite, und daß infolgedessen die Aufbiegung der Antiklinalenlinie der einzelnen Schicht und damit auch des Schichtenpakets im ganzen an den Rändern gering wird. So kann die Zerteilung der gefalteten Schicht bewirken, daß auch da, wo eine recht dick erscheinende Schicht gefaltet ist, die reitsattelähnliche Aufbiegung so schwach bleibt, daß sie nicht auffällt.

Freiburg i. B.. Math.-phys. Institut, Nov. 1921.

¹ Punkt H wurde deshalb nicht weiter unten angenommen, weil in der Schicht unterhalb H, bei K, Ablösungen eintraten, so daß nur BH als einheitlich gefaltete Schicht gelten kann.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: [1922](#)

Autor(en)/Author(s): Hungerer Erwin

Artikel/Article: [Ein Belegstück zur Elastizitätstheorie der Faltung. 106-109](#)