

Potenzierte Faltung

(Ein vernachlässigtes Kapitel der
tektonischen Geologie)

Von

Hans Peter Cornelius †

Wien

Mit 10 Figuren

Sonderdruck

aus der

Geologischen Rundschau

Bd. 42, Heft 2. 1954

FERDINAND ENKE VERLAG STUTTGART

POTENZIERTE FALTUNG

(EIN VERNACHLÄSSIGTES KAPITEL DER TEKTONISCHEN GEOLOGIE)

Von HANS PETER CORNELIUS † *Wien*

Mit 10 Figuren

Angesichts der Bedeutung, welches komplizierte, nicht unmittelbar dem einfachen Schema: Falte, Flexur, Überschiebung usw. einzuordnende Gebilde im Bau der Alpen- und vermutlich auch anderer Kettengebirge besitzen, erscheint es angebracht, einiges, das dahin gehört, zusammenzustellen; dies um so mehr, als sich unsere Lehrbücher zumeist gänzlich darüber ausschweigen. Auf Vollständigkeit machen dabei die folgenden kurzen Ausführungen keinerlei Anspruch, weder in historischer noch in anderer Hinsicht; es sollen lediglich einige klassische Profile besprochen werden.

I. Historisches

Wohl der erste, der geradezu von „Faltung einer Falte“ sprach, war ALB. HEIM: in seiner großen Monographie der Hochalpen zwischen Reuß und Rhein (1891) beschreibt er S. 61 die berühmte gewundene Falte am Großen Axen mit auf den Kopf gestelltem Gewölbe, gegen oben geschlossener Mulde. Wenn wir dieselbe auch heute anders deuten — als Stirnverzweigung einer tauchenden Deckfalte —, so konnte doch später HEIM selbst Gebilde, die seiner ersten Auffassung ziemlich genau entsprachen, in anderer Gegend feststellen: am Öhrli und an der Marwies im Säntisgebirge (1905, S. 57, 90; vgl. auch Profil 17—20 auf Taf. III und IV und Fig. 4, Taf. VIII).

Schon vor der letztgenannten Publikation war von anderer Seite eine verwandte Erscheinung viel größeren Ausmaßes bekannt geworden: in der epochemachenden Arbeit von LUCEON (1901) wurde gezeigt, wie das Cephalopodenneokom der Zone des Cols kilometerweit unter und zwischen die großen Deckfalten der Hautes Alpes calcaires eindringt — während das erstere doch einer Decke angehört, die normalerweise über den letztgenannten liegt. Es ist das erste bekannt gewordene Beispiel einer „Deckeneinwicklung“, wie wir es heute nennen. Einige klassische Beispiele seien hier genannt: das Eindringen der Säntis-Drusberg-Decke auf der Nordseite des Klöntales (Glarneralpen; 1922, Taf. 18, Prof. 2) oder an die Verfallung von Mt.-Leone- und St.-Bernharddecke am Simplon (1922, Taf. 23, Prof. 6); endlich als Beispiel großen Maßstabes an die zuerst von ARNOLD HEIM erkannte Einwicklung des Wildflysches unter die Gesamtheit der helvetischen Decken in den Glarneralpen.

Derartige Erscheinungen wurden wohl auch als „Faltungen höheren Grades“ oder „zweiter Potenz“ bezeichnet. Es lag nun nahe zu fragen, ob sich auch die dritte Potenz der Faltung irgendwo findet. Und tatsäch-

lich wurde sie, wohl zum ersten Male, von R. STAUB in Val Malenco beobachtet (1921): dort sind die über den Malenco Serpentin bewegten Gneise der Margnadecke auf mehrere Kilometer Breite unter diesen nach S eingewickelt; die eingewickelte Masse aber ist ihrerseits wieder in kleineren Verhältnissen in den eingewickelten Serpentin eingewickelt und ihr südlichstes Ende ist wiederum nach aufwärts gedreht worden. Seither gelang es mir am Ostalpenrande im Oberhalbstein die dritte Faltungspotenz mehrfach, in allerdings ganz kleinem Maßstabe sogar die vierte nachzuweisen (1928). Auch in der Schieferhülle der Tauern sind ähnliche Dinge zu sehen (1939).

Das Endziel potentiierter Faltung kann man mit AMPFERER (1920) *Verknäuelung* nennen; aber auch die ärgste Verknäuelung schafft, wie der genannte Autor hervorhebt, keine regellose Vermischung der Schichten, sondern stets eine Ordnung, die mit der nötigen Geduld und Sorgfalt aufgelöst werden kann.

II. Zur Begriffbestimmung

Im folgenden wird — in Anlehnung an AMPFERER's Bezeichnung zweite und dritte usw. Potenz der Faltung mit dem Ausdruck „potenzielle Faltung“ alles das bezeichnet, was nicht auf einen einzelnen Akt gewöhnlicher Faltung zurückgeführt werden kann — selbstverständlich soweit es sich nicht um rupturale Deformationen handelt. Dazu gehören also die eingangs erwähnten Fälle der Faltung einer Falte, der Deckeneinwicklung, überhaupt jede Faltung, die den Mittelschenkel einer überliegenden Falte wiederergreift; endlich auch kompliziertere Fälle, von denen weiter unten die Rede sein wird. Als einfaches Kennzeichen für potenzierte Faltung kann man angeben das Auftreten von Gewölben, in deren Kern jüngere, und Mulden, in deren Füllung ältere Schichten enthalten sind. Auch die Bildung von Tauchdecken ist demnach (soweit sie überhaupt aus Faltung hervorgeht) als potenzierte Faltung zu betrachten.

Nicht unter den Begriff der potenziellen Faltung fällt die sekundäre Faltung des Hangendschenkels einer Decke, die Spezialfaltung im Inneren von Gewölben und Mulden — überhaupt jede Faltung, die als Teilbewegung einer größeren Deformation zuzuordnen ist —, soweit sie nicht als solche unter der obenstehenden Definition Platz findet. Ebenso ist Faltenvergitterung, Wiederfaltung in abweichender Richtung an sich noch keine Potenzierte Faltung, sondern erst dann, wenn durch sie die oben angegebenen Merkmale zur Entstehung gelangen.

III. Einige Möglichkeiten der Deutung von komplizierten Profilen

Wenn wir in einem Aufschluß eine mehrfache Wiederholung der gleichen altersverschiedenen Schichten finden — der Einfachheit halber sei zunächst nur von zwei solchen die Rede und stets die ältere mit *a* bezeichnet —,

so werden dieselben wohl in den meisten Fällen im Sinne der herkömmlichen Schuppenstruktur verknüpft, wie in Fig. 1 angedeutet¹⁾ oder auch — falls sich der betreffende Beobachter über den Unterschied von stetiger und unstetiger Tektonik im klaren ist — im Sinne entsprechender Faltung, derart daß jedem Auftreten von a eine Antiklinale entspricht und daß alle Antiklinalen nach der gleichen Richtung, alle Synklinalen nach der entgegengesetzten schauen (Fig. 2). Eine solche Verknüpfung im Sinne einfacher Schuppung oder Faltung ist gewiß möglich und wird in vielen

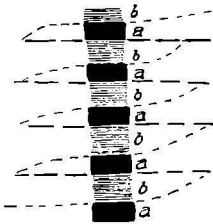


Fig. 1

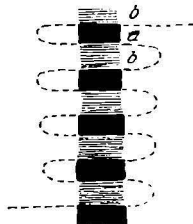


Fig. 2

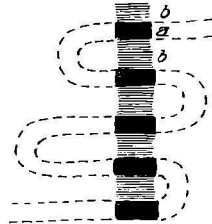


Fig. 3

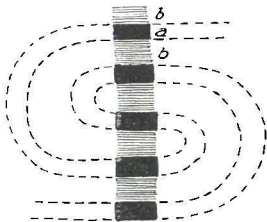


Fig. 4

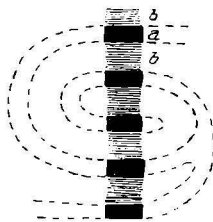


Fig. 5

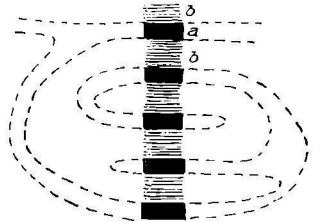


Fig. 6

Fällen der Wirklichkeit entsprechen; aber die einzigen Möglichkeiten sind das keineswegs.

Man kann vielmehr auch eine Verbindung vollziehen im Sinne der Fig. 3. Auch hier lassen sich noch Antiklinalen und Synklinalen unterscheiden, die alle nach der gleichen Richtung schauen; allein es handelt sich hier nicht mehr um eine einfache normale Schichtfolge, die in Falten gelegt ist, sondern um eine Decke (Schuppe, liegende Falte) von a unten und überlagert von b und sekundär als Ganzes gefaltet — nicht mehr um einfache, sondern um potenzierte Faltung in unserem Sinne.

Weitere Möglichkeiten zeigen die Figuren 4, 5, 6, die höhere Faltungspotenzen darstellen. Sie entsprechen verschiedenen Formen des Spezialfalles, den ich (1928) als „Spiralfaltung“ bezeichnet habe. Hier kann man von Anti- und Synklinalen im herkömmlichen Sinne kaum mehr reden — denn die umgedrehten Endigungen der Synklinalen stecken in den Kernen

¹⁾ In Fig. 1—6 und Fig. 8 ist zunächst nur das als aufgeschlossen gedacht, was voll ausgezeichnet ist.

der Antiklinalen zuinnerst. Es sind aber noch weitere Fälle denkbar; insbesondere die Kombinationen potenziierter mit einfacher Faltung bieten eine fast unerschöpfliche Fülle von Möglichkeiten, die sich der Leser leicht selbst ausmalen kann. Hier seien nur noch zwei solche angedeutet: die Wiederfaltung eines eingewickelten Keiles (Fig. 7) und die nochmalige Faltung einer bereits wiedergefalteten Decke (Fig. 8), in der Oberhalbsteiner Ophiolithzone verwirklicht.

Fragen wir uns nun nach der Unterscheidbarkeit der verschiedenen Fälle, so steht es damit natürlich schlecht, solange man nicht mehr sieht,

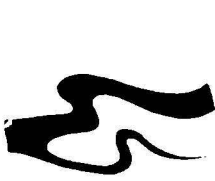


Fig. 7



Fig. 8

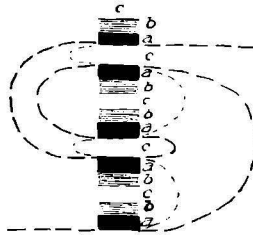


Fig. 9

als in den Fig. 1—6 als sichtbar angenommen ist, von denen wir ausgegangen sind.

Zunächst wird schon die Annahme, die wir schematisch vereinfachend machten, oftmals nicht zutreffen, daß es sich nur um zwei auseinander zu haltende Schichtglieder handelt. Sowie aber noch ein drittes unterschieden werden kann, ist die Sache wesentlich erleichtert. In Fig. 9 z. B. sehen wir eine normale Folge a, b, c zweifach wechseln mit der verkehrten c, b, a. Hier kann von einer einfachen Schuppung oder Faltung im Sinne der Fig. 1 oder 2 nicht die Rede sein. Ob aber die Verknüpfung nach Fig. 3 oder als Spirale wie in Fig. 4 zu erfolgen hat — in Fig. 9 sind die Möglichkeiten angedeutet, das bleibt auch hier noch unentscheidbar.

Aber zum Glück wird man zumeist noch etwas mehr sehen, namentlich, wenn es sich um tektonische Gebilde größeren Ausmaßes handelt. Genaue Verfolgung im Gelände wird das eine oder andere Verbindungsstück, die eine oder andere Umbiegung auffinden lassen; und schon die Kenntnis bloß eines einzigen solchen Elementes kann unter Umständen die Auswahl unter den verfügbaren Möglichkeiten eindeutig machen. Ist z. B. in

Fig. 8 die Verbindung vom obersten zum zweituntersten a sichergestellt, so ist eine andere Verknüpfung als in Fig. 4 nicht mehr oder doch nur mehr sehr gezwungen möglich.

Es können unter Umständen auch allerhand zufällige Erscheinungen den Weg der Verknüpfung weisen. Findet sich z. B. in Fig. 9 eine gleichartige Einlagerung nur im obersten und im zweituntersten a, in den zwischen und darunterliegenden Vorkommen aber nicht, so ist das wieder ein Hinweis auf wahrscheinliches Verbundensein im Sinne von 4. Aber selbstverständlich sind solche Anzeichen mit Vorsicht zu gebrauchen.

Das gilt insbesondere von tektonischen Ausdünnungen, mechanischen Kontakten, Zerquetschungen usw. In Gebieten höchst intensiver Komplikationen, in denen allein potenzierte Faltung möglich ist, können solche Erscheinungen überall vorkommen. Das schließt natürlich nicht aus, daß nicht auch einmal ein auf weitere Strecken aushaltender Quetschhorizont einen Leitfaden durch eine tektonische Wildnis schlimmster Art abgeben kann. Häufiger freilich dürften die Ausquetschungen aber die Verfolgung der Zusammenhänge erschweren: dann nämlich, wenn sie gerade die „leitende Schicht“ getroffen haben. Wer z. B. den vielverschlungenen, potenziert gefalteten Schiefer und Radiolaritbändern nachgestiegen ist, weiß davon ein Lied zu singen.

Endlich wird schon der ganze tektonische Stil der betreffenden Gegend einem erfahrenen Geologen ungefähr sagen, welcher Art die Komplikationen sind, die er zu erwarten hat. In einer Zone stetiger, fließender Faltung wird er im allgemeinen keine Schuppenstruktur antreffen; dagegen sind hier alle Arten potenziierter Faltung zu Hause — mit Einschluß der Spiralfaltung, sofern es sich nicht um einen Bewegungshorizont an der Basis mächtiger Decken handelt. Umgekehrt wird in Gegenden unstetiger Tektonik potenzierte Faltung nur ausnahmsweise, und beschränkt auf besonders geeignete Materialien, auftreten. Ein gutes Beispiel dafür bietet der Hirschberg bei Hindelang am Allgäuer Alpenrande, auf dessen Hauptdolomit die Kreidesteine einer tieferen Schuppe sekundär überfaltet sind (REISER 1922). Sonst aber tritt in solchen Gebieten, gewissermaßen als „Unstetiges Äquivalent“ der potenzierten Faltung, eher eine Verschuppung und Verspießung verschiedener tektonischer Einheiten ein, wie im westlichen Rhätikon, wo auf den Schuppungsflächen des ostalpinen Triasgebirges die basischen Eruptiva, Jura und Flyschgesteine der Unterlage eingeschleppt sind (SEIDLITZ 1911, TRÜMPY 1917), was übrigens an dem vorerwähnten Hirschberg in ganz ähnlicher Weise — Diabasporphyrite unter Jochschrofenüberschiebung — der Fall ist.

IV. Zur genetischen Deutung

Die Erscheinungen der potenzierten Faltung kann man auf verschiedene Weise zu erklären versuchen. Für die kleinen Beispiele aus dem Sämtisgebiete ist die Erklärung wohl ansprechend, die HEIM (1905, S. 95) im Falle der Marwies andeutet: daß die am höchsten emporgetriebene Falte sich unter der Einwirkung ihres eigenen Gewichtes vornüberneigt

und unter gleichzeitigem Weiter-in-die-Höhe-schieben des Gewölbeschenkels ihre jetzige überschlagene Gestalt bekommen habe. Schwierigkeiten bietet dabei nur die Frage, was mit der Füllung der vorgelagerten Mulde geschehen sei, in die sich der Gewölbescheitel einsenkt: sie muß irgendwohin auszuweichen Platz gehabt haben — etwa in eine Erosionskerbe?

Eine solche Erklärungsweise verbietet sich von selbst bei der Mehrzahl der potenzierten Falten: den Einwickelungen und Spiralfalten an der Sohle oder an der Stirn großer Decken. Hier gilt zunächst der Grundsatz: die eingewickelte Decke muß älter sein als die einwickelnde. Es ist so selbstverständlich, daß es eines Beweises nicht bedarf — denn wie sollte eine Decke oder Falte unter sich einwickeln können, was nicht zuvor unter ihr gelegen hat (bzw. etwas über sich einwickeln, was unter ihr liegt, vgl. ARGANDS Mischabelrückfalte und ihr Verhältnis zur Monte-Rosadecke, 1916).

Dieser Grundsatz ist schon oftmals angewandt worden zur Bestimmung des relativen Alters tektonischer Vorgänge. Er ist aber in gewissem Sinne mit Vorsicht zu benützen, wie sich gleich zeigen wird. Gewöhnlich wird er nämlich — bewußt oder unbewußt — so verstanden, daß es sich um zwei getrennte Phasen handelt: eine erste, welche die höhere, eingewickelte Decke flach überschob, und eine zweite, welche sie mit der Unterlage verfaltete; dazwischen mag sich unter Umständen eine Ruhepause, vielleicht mit Erosion, eingeschaltet haben. In vielen Fällen mag dies zutreffen, insbesondere dann, wenn sich eine Decke als Ganzes in die andere einbohrt (Profil des Deyenstockes in den Glarneralpen; oder Verhältnis von Antigorio und Lebendungneis nach C. SCHMIDT), oder dann, wenn eine, evtl. mehrere Decken als Ganzes in den Synklinalen einer tieferen eingefaltet sind (Feuerstätter und Scheinalpdecke in den Synklinalen der Vorarlberger Kreide, CORNELIUS 1926). In diesem Falle ist es klar, daß die hangende Decke nicht mehr gegenüber der Unterlage vorgerückt sein kann nach deren Faltung²⁾. Allein sehr häufig hat die Verfaltung mit der Unterlage bloß die tieferen Horizonte der hangenden Decke betroffen; in diesem Falle wird die angedeutete Erklärungsweise schwierig. Sie versagt vollends bei den Spiralfalten; denn hier müßte man annehmen, daß drei oder vier und vielleicht noch mehr Faltungsphasen sich abgespielt haben — alle an derselben, meist nicht sehr ausgedehnten Stelle! An und für sich ist es ja sehr wohl möglich, daß auch drei und mehrere Phasen unterschieden werden können; bei Gebilden, wie sie dem Schema Fig. 7 entsprechen, mag man das ruhig annehmen (1. Überschiebung, 2. Einwickelungsphase, 3. Verbiegung von Decke und eingewickeltem Teil, zusammen mit der eingewickelten Falte). Hier ist eben nicht nur das letzte Ende des eingewickelten Deckenstücks über sich selbst zurückgebogen wie bei den Spiralfalten. Und eine besondere Schwierigkeit für die Erklärung durch mehrere Bewegungsphasen ergibt sich vielfach bei Spiralfalten und Einwickelungen, die als unvollendete Spiralfalten aufzufassen

²⁾ Man vergleiche hierzu die Ausführungen von W. SCHMIDT über Umoorientierung des Beanspruchungsplanes bei mehrphasigen Profilen (1925).

sind (bei denen es nur zur Ausbildung des äußeren Spiralbogens gekommen ist): daß nämlich die einwickelnde Falte vielfach jüngste Schichtglieder enthält, welche sonst — oft schon in der nächsten Umgebung — dem betreffenden tektonischen Element verlorengegangen sind. Das ist nur dann verständlich, wenn schon in einem frühen Zustand der Bewegung die Einwickelung vorgezeichnet war durch eine Aufwölbung³⁾ der später eingewickelten Schubfläche, welche die obersten Schichten der Unterlage vor Wegquetschung schützte (bzw. das weiter rückwärts weg-

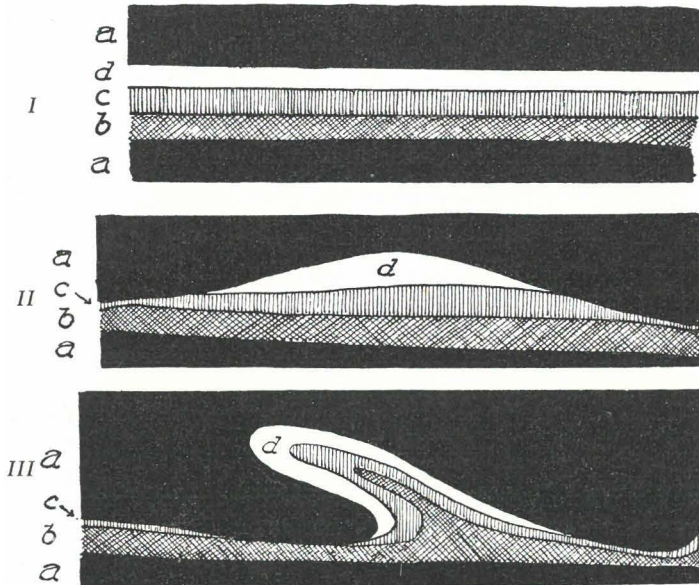


Fig. 10

gequetschte Material aufsammeln konnte). Auf Beispiele dieser Art aus dem Oberhalbsteiner Abschnitt des Ostalpenrandes wurde an anderer Stelle hingewiesen (CORNELIUS 1928) (Fig. 10).

Man muß annehmen, daß die potenzierte Faltung in solchen Fällen Begleiterscheinung von Deckenbewegung selbst ist. Selbstverständlich muß, damit erstere zustande kommen kann, die höhere Decke bereits auf der tieferen liegen. Allein es ist nicht notwendig, daß diese Übereinanderlagerung das Ergebnis einer bereits abgelaufenen Bewegungsphase ist. Es genügt vollkommen, daß die höhere Decke eine größere Geschwindigkeit besitzt als die tiefere.

³⁾ Man vergleiche dazu die Ausführungen SCHWINNERS (1926), wonach aufeinander gleitende elastische Platten ganz ebenso wie aufeinander gleitende Flüssigkeitsschichten eine flache Wellung annehmen müssen, sowie die Darlegungen von RINNE (1926) bezüglich der Wellengleitung.

Eine weitere für das Zustandekommen von Einwickelungen und Spiralfalten notwendige Voraussetzung ist eine einigermaßen stetige Verteilung der Bewegung. Ist eine solche nicht vorhanden, findet eine Verschiebung des Hangenden gegen das Liegende nur längs einer Schubfläche statt, dann bedeutet jede einigermaßen beträchtliche Knickung oder Verbiegung der letzteren zugleich das Ende der Bewegung der Decke als eines Ganzen: die Biegungsstelle wird zur Entstehung einer sekundären Gleitfläche Anlaß geben, an der sich die rückwärtigen Teile der Decke über die vorderen weiterschieben. Es ist dies ein Vorgang, der vielfach für die Übereinanderstapelung sekundärer Decken, z. B. in den Allgäuer und Lechtaler Alpen (AMPFERER und HAMMER 1911), verantwortlich zu machen sein dürfte. Dabei können auch die Hangendglieder der unmittelbaren Unterlage auf den sekundären Gleitflächen mit eingeschleppt werden — vgl. die oben erwähnten „Schollenfenster“. Nur in einem Falle könnte eine solche Decke trotz verbogener Sohle im Ganzen bewegungsfähig bleiben: wenn nämlich unter dem in die Aufwölbungen der Schubfläche hineingestopften Unterlagerungsmaterial eine neue Schubfläche ausgebildet wird. Sichere Beispiele hierfür sind mir jedoch nicht erinnerlich.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei stetiger Verteilung der Bewegungsflächen. In diesem Falle gibt es nicht nur eine „Schubfläche“, sondern neben der stratigraphisch gekennzeichneten Deckensohle haben noch alle möglichen anderen, dazu parallelen Flächen ihren Anteil an der Bewegung übernommen; diese kann am besten durch den Vergleich mit dem Fließen einer zähen Flüssigkeit veranschaulicht werden. Es ist klar, daß dieser Art der Bewegung die höheren Teile der Decke gegenüber den tieferen ein hohes Maß von Selbständigkeit besitzen können. Im allgemeinen werden die ersteren geradezu gegenüber den letzteren vorausseilen, wie in größerem Maßstab in einem einheitlich bewegten Deckenpaket die höhere Decke vorausseilt gegenüber der tieferen. Als Folge dieser Geschwindigkeitsdifferenzen können Einwickelungen und Spiralfalten aufgefaßt werden, genau so wie es in bewegten Flüssigkeiten zur Bildung von Wirbeln kommt⁴⁾. SANDER, der jene zuerst in dieser Weise aufgefaßt hat (1921, S. 213), und AMPFERER (1924) bezeichnen sie geradezu als Wirbel; insbesondere liegt der Vergleich mit den REHBOCKSchen Wasserwalzen nahe, auf die SALOMON (1926) hingewiesen hat. Und ganz ähnlich wie diesen ein Hindernis in der Bewegungsbahn den Anstoß zu der rotierenden Bewegung gibt — ganz ähnlich ist es auch im Falle unserer Einwickelungen, nur daß hier das Hindernis nicht starr der Fließbewegung gegenüberstand, sondern mit dieser vorwärts getragen wurde. Damit komme ich wieder auf eben die Aufwölbungen der Schubflächen, von denen oben gesagt wurde, daß sie bereits in einem frühen Stadium der Bewegung die späteren Einwickelungen vorgezeichnet haben müssen: sie wirkten, einmal vorhanden, als Inhomogenitäten, als „Hindernisse“, und

⁴⁾ Die erste Erörterung über Wirbel als Begleiterscheinung tektonischer Bewegungen findet sich bei W. SCHMIDT (1915).

bedingten die rotierende Bewegung — die ihrerseits zur Übertreibung der ursprünglichen Aufwölbungen, evtl. bis zu Spiralfalten, führte⁵⁾.

Schriften

AMPFERER, O.: Geometrische Erwägungen über den Bau der Alpen. Mitt. Geol. Ges. Wien, S. 135—150, Wien 1920. — Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Erste Fortsetzung. Jb. Geol. Bundesanst., Wien 1924. — AMPFERER, O., & HAMMER, W.: Geologischer Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee. Jb. Geol. Reichsanst. S. 531—710, Wien 1911. — AMPFERER & SANDER, B.: Über die tektonische Verknüpfung von Kalk- und Zentralalpen. Verh. Geol. Staatsanst. S. 121—131, Wien 1920. — ARGAND, E.: Sur l'arc des Alpes occidentales. Ecl. geol. Helv. 14, S. 145—191, Lausanne 1916. — CORNELIUS, H. P.: Die Klippenzone von Balderschwang. Geol. Archiv, IV, München 1926/27. — Zur Auffassung des westlichen Ostalpenrandes. Ecl. geol. Helv., 21, S. 157—163, Basel 1928. — CORNELIUS, H. P., & CLAR, E.: Geologie des Großglocknergebietes I. Abh. Geol. Bundesanst., 25, Heft 1, 306 S., Wien 1939. — CORNELIUS, H. P.: Geologie der Err-Juliergruppe, II. Teil: Der Gebirgsbau. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 70 (der ganzen Serie 100), 264 S. Bern 1950. — HEIM, ALBERT: Geologie der Hochalpen zwischen Reuß und Rhein. Beitr. geol. Karte Schweiz, 25. Bern 1891. — Das Säntisgebirge. Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F. 16. Bern 1905. — Geologie der Schweiz, II. Leipzig 1922. — LUGEON, M.: Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. Bull. Soc. géol. France; 4. série I, S. 723, Paris 1901. — REISER, K. A.: Geologie der Hindelanger und Pfrontner Berge im Allgäu. Geogn. Jahreshefte, 35, S. 1, München 1922. — RINNE, F.: Über die Auslösung von Spannungen durch Wellengleitung. Zbl. f. Min. 1926, Abt. B, S. 369, Stuttgart 1926. — SALOMON, W.: Die Rehbockschen Wasserwalzen und ihre Bedeutung für die Erosion und Akkumulation. Geol. Rdsch. 17, S. 418, Stuttgart 1926. — SANDER, B.: Zur Geologie der Zentralalpen. Jahrb. Geol. Staatsanst. 71, S. 173, Wien 1821. — SCHMIDT, W.: Mechanische Probleme der Gebirgsbildung. Mitt. Geol. Ges. Wien, 8, S. 62, Wien 1915. — Gesteinsumformung. Denkschr. Naturhistor. Museum Wien, 3. Wien 1925. — SCHWINNER, R.: Scharung, der Zentralbegriff der Tektonik. Zbl. f. Min. 1924. — v. SEIDLITZ, W.: Schollenfenster im Vorarlberger Rhätikon und im Fürstentum Lichtenstein. Mitt. Geol. Ges. Wien, 4, S. 37, Wien 1911. — STAUB, R.: Zur Tektonik der penninischen Decken in Val Malenco. Iber. Naturf. Ges. Graubündens, 40, Chur 1921. — TRÜMPY, D.: Geologische Untersuchungen im westlichen Rhätikon. Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F., 46/II, 1917.

⁵⁾ Trotz der obigen sicher weitgehenden Analogien möchte ich für die Spiralfalten usw. nicht die Bezeichnung „Wirbel“ anwenden. Denn, wie mich Herr Dr. PAUL HIRSCH in dankenswerter Weise aufmerksam macht, ist für die Wirbelbildung in Flüssigkeiten eine Druckverminderung im Zentrum erforderlich, und es bedürfte zum mindestens noch der Untersuchung, inwieweit sich bei „tektonischen Wirbeln“ etwas ähnliches voraussetzen läßt, bevor man von solchen reden darf. Als rein beschreibender Ausdruck ist jedenfalls „Spiralfalte“ vorzuziehen, um so mehr als in letzter Zeit im Italienischen die Bezeichnung „Schlinge“ mit „vortice“, d. h. Wirbel, übersetzt wird. Schlingen sind Falten mit vertikaler Achse.