

### 13. Herr O. AMPFERER-Wien: **Über das Verhältnis von Faltung und Schiebung zur Umgebung und zum Untergrund.**

Ich möchte mir heute erlauben, Sie auf ein Arbeitsfeld der modernen Geologie zu führen, das zu den am seltensten betretenen gehört, trotzdem aber eine große Entwicklungsfähigkeit besitzt.

Ich meine das Gebiet der kinetischen oder motorischen Geologie. Unter kinetischer Geologie verstehe ich die Betrachtungsweise geologischer Vorgänge vom Standpunkt der erzeugenden Bewegung aus. Jeder Körper, der eine Bewegung ausführt, schafft eine neue Ordnung der Dinge, er tritt in neue Verhältnisse zu seiner Umgebung. Es entstehen neue Anordnungen, neue Bewegungsorganisationen, welche einerseits umkehrbare, also elastische, andererseits nicht umkehrbare sind.

Die Geologie hat es vor allem mit den nicht umkehrbaren Bewegungsorganisationen zu tun.

Solche Bewegungsordnungen können nun außerordentlich verschieden sein. Ein Stein, welcher einen Abhang hinunterkollert, beeinflußt seine Umgebung wesentlich anders als ein Gasstrahl, welcher einem Vulkan entströmt. Die Umgebung beeinflußt aber ihrerseits auch wieder den bewegten Körper und zwingt denselben zu entsprechenden Änderungen. Der Stein zerschellt, der Gasstrahl kühlt sich ab, vermischt sich, geht neue Verbindungen ein.

Alle diese Änderungen, diese Anordnungen sind nur verständlich im Hinblick auf die erzeugende Bewegung, und sie werden durch diese Bewegung zu einer selbständigen Gruppe zusammengehalten, deren Abgrenzung gegen die weitere Umwelt eine allmähliche ist, indem die hervorgerufenen Veränderungen meist schon in bestimmter Ferne außerordentlich kleine werden.

Das ganze Gebiet der Geologie ist natürlich einer solchen Betrachtungs- und Forschungsweise zugänglich.

Die Kompliziertheit der in der Natur vielfach sich abspielenden Bewegungsprozesse fordert uns auf, diese Vorgänge zuerst in ihre einzelnen Elemente aufzulösen.

Ein ausgezeichnete Weg, tiefere Einblicke in die großen Bewegungsorganisationen zu erlangen, scheint mir der eingehende Vergleich mit der menschlichen Bearbeitung der auf der Erde vorhandenen Materialien zu sein.

Hier steht uns ein ungeheurer Erfahrungsschatz von Bewegungen und planmäßig durch sie hervorgerufenen Wirkungen zur Verfügung, welcher eine unerschöpfliche Fundgrube neuer geologischer Betrachtung darstellt.

Qualmende Schornsteine, Dampfhämmer, Walzwerke, Aufbereitungsanlagen, Geschütze werden von dieser Methode zur Erweiterung und Vertiefung geologischen Schauens verwendet. Man könnte in diesem Sinne von einer Geologie der menschlichen Arbeit sprechen.

Weitere Hilfsmittel den Bewegungsorganisationen nachzuspüren, bietet die graphische Darstellung und die Wahrscheinlichkeitsrechnung, welche viele Probleme noch zu durchschauen gestatten, die der streng mathematischen Behandlung derzeit nicht zu unterwerfen sind.

Es ist selbstverständlich, daß alle anderen Hilfsmittel geologischer Forschung ebenso fort und fort ihre Verwendung finden. Um Ihnen zu zeigen, wie durch die kinetische Betrachtungsweise der Umfang der geologischen Aussagen einer Erscheinung vermehrt werden kann, möchte ich Ihnen einige einfache Anwendungen aus der tektonischen Geologie vorführen, welche gestatten, das Charakteristische dieser Methode leicht zu erkennen.

Den Ausgangspunkt aller tektonischen Überlegungen bildet die Schwereanordnung der Gesteine in mehr oder weniger der Erdoberfläche parallelen Lagen. Durchgreifende Gesteinsmassen und steile Schüttungen bilden demgegenüber lediglich leicht zu erkennende Ausnahmen.

Durch die Periodizität der Jahreszeiten, von Tag und Nacht, die Stöße der Erdbeben usw. wird die Schichtung des Materiales erzeugt. Durch sie werden Fugen von weit geringerem Schubwiderstand durch die Gesteinsmassen gezogen, welche bei jeder tektonischen Behandlung von allergrößter Wichtigkeit sind.

Nehmen wir nun an, wir hätten eine parallel geordnete Schichtentafel von großer Ausdehnung vor uns. Es bestehe die Aufgabe, im Felde dieser Tafel eine runde Aufwölbung oder Einmuldung zu erzeugen.

Das kann, entsprechende Materialbeschaffenheit vorausgesetzt, leicht entweder durch Druck oder Zug von unten oder oben geschehen. Sehr schwierig gestaltet sich jedoch das Problem sofort, wenn die ergreifenden Kräfte im Felde der Tafel selbst orientiert sein sollen.

Bei einer halbkugelförmigen Wölbung wäre eine derartig komplizierte Zerlegung der ganzen Schichtentafel in verschieden bewegte Schubstreifen nötig, daß man eine solche als tatsächlich nicht möglich ausschließen kann.

Kuppeln solcher Art können als Siegel für autochthone wurzelnde Entstehung bezeichnet werden.

Eine Anwendung dieses Schlusses ergibt ohne weiteres die autoplaste Entstehung von gewissen Salzkekzen sowie jene der Lekkolithen, welche sich ihre Kuppelräume unbedingt selbst geschaffen haben müssen.

Die runden Aufwölbungen stellen sich also als Gebilde mit starker seitlicher Isolierung dar.

Die isolierende Wirkung gegen seitliche Einflüsse nimmt beim Übergang zu Wölbungen mit elliptischem Umriß verhältnismäßig rasch ab.

Wird der Umriß der Wölbung röhrenförmig, so kann man nicht mehr von seitlicher Isolierung sprechen, und wir haben Gebilde vor uns, die ebenso gut durch vertikal als auch durch horizontal angeordnete Kräfte erzeugt werden können. Bei horizontaler Anordnung der angreifenden Kräfte erfordert die Aufwölbung einer gerade gestreckten Faltwelle eine ziemlich einfache Zerlegung des Umlandes. Zur Bildung einer stärker gebogenen Faltwelle ist dagegen wiederum eine sehr komplizierte Schubzergliederung des Umlandes nötig. Für ringförmig geschlossene Falten gilt dasselbe wie für halbkugelige Wölbungen.

Treten im horizontalen Schichtfeld mehrere halbkugelige Wölbungen auf, so kann das als Beweis einer noch verstärkten seitlichen Isolierung genommen werden. Das Auftreten mehrerer gestreckter Faltwellen im Horizontalfeld bietet eine Fülle von Möglichkeiten der gegenseitigen Kombination und Beeinflussung. Bei paralleler Anordnung ist die Frage nach dem Wachstum der neu hinzutretenden Falten enge mit der Materialbeschaffenheit und den Gesetzen der Druckleitung verbunden. Hier wären vor allem experimentelle Studien sehr erwünscht.

Kreuzen sich die Faltwellen gegenseitig, so sind recht verschiedene Arten der gegenseitigen Durchdringung möglich. Ungefähr senkrecht einander durchdringende Falten bieten im horizontalen Schichtfeld eine Möglichkeit von annäherungsweise allseitiger Konzentration. Hier ergibt sich wieder eine Anwendung auf die im Baue der Alpen nun weithin nachgewiesenen Faltungen und Schiebungen senkrecht zu ihrer Längserstreckung. Es ist sehr wahrscheinlich, daß wir hier Kompensationsbewegungen zu der nordsüdlichen Zusammenpressung vor uns haben. Dieselben brauchen bei der gewaltigen Trägheit der hier in Betracht kommenden Massen durchaus nicht gleichzeitig eingetreten zu sein, sondern können eine große Verspätung zeigen. Durch eine Anhäufung von Faltwellen kann eine ganz beträchtliche Massenverschiebung erzielt werden, Wir haben daher im horizontalen Schichtfeld gewissermaßen Zufahrtsstraßen, auf denen der Transport der Massen für den Bau der Falten besorgt wird. Nehmen die aneinander gereihten Falten eine gerade Erstreckung, so sind die Förderungsbahnen senkrecht zu der Längsachse angeordnet.

Viel komplizierter wird der Bau der Zufahrtsstraßen bei gekrümmter Erstreckung der Faltenanordnung.

Wir erkennen aus dieser Überlegung, daß zur vollen Kenntnis eines Faltengebirges die Erforschung seines Umlandes gehört, in welchem die Bewegungsbahnen verborgen liegen, längs deren das Material zum Gebirgsbau herbeigeschafft wurde.

Untersuchen wir die Bildung von Falten im vertikalen Schnitt, so zeigen sich wesentlich andere Erscheinungen.

Wird eine horizontale Schichte zu Faltwellen verbogen, so entstehen durch diese Anordnung an Stelle eines gleichmäßigen Druckes Senkungs- und Hebungszonen. Wir können von einer Pumpwirkung der Faltung auf den Untergrund reden. Finden sich leichter bewegliche Massen oder Flüssigkeiten im Schichtverbände, so wird deren Verteilung in kräftiger Weise von der Faltung beeinflusst. Es entstehen Massenströmungen gegen die Aufwölbungen hin.

Sehr wichtige Aufschlüsse kann der Umfang und Inhalt einer Faltwelle gestatten.

Wir finden in den Faltengebirgen sehr häufig vollständig zusammengeklappte Mulden und Sättel. Ein zusammengeklappter Sattel bedeutet einen Bauabschluß gegen unten, eine zusammengeschlagene Mulde einen solchen gegen oben. Es wird dadurch bewiesen, daß im einen Fall keine tieferen, im anderen keine höheren Schichtglieder am gleichen Faltenbau teilgenommen haben.

Jede stärker zusammengepreßte Falte muß von ihrem Untergrund abgetrennt sein. Das ist eine notwendige Forderung ihrer Entstehung. Am klarsten tritt das bei geschlossenen Sätteln zutage. Intensive Faltung ist daher stets ein Zeichen von Entwurzelung. Die stetige Beziehung zum Untergrund wird zerrissen und unstetig gemacht. Wurzellosigkeit ist somit eine Charakteristik jeder langgestreckten intensiven Faltenzone.

Zeigt ein Schichtkomplex geschlossene Mulden und Sättel, so ist das ein Beweis für Bewegungselbständigkeit gegen oben und unten, ein Beweis für das Bestehen einer Bewegungsdecke. Die große Anzahl von solchen geschlossenen Falten im Bau der Alpen führt die reiche Gliederung in einzelne für sich bewegte Decken unzweideutig vor. Eine solche Trennung braucht keine sehr weitreichende zu sein. Es ist sehr wohl möglich, daß solche Strukturschnitte im Bereiche von angehäuften weicheren Schichten wieder erlöschen oder anderweitig abgelöst werden.

Während die Faltungszonen entsprechend dem meist auffallend geringen Inhalt ihrer Falträume Bildungen oberflächlicher Schichtlagen sind, setzen die Bewegungsflächen unter Umständen in bedeutender Tiefe nieder.

Verwerfungen und Überschiebungen sind vor allem die Sprachrohre von Veränderungen der Tiefe gegen die Oberfläche unseres Erdkörpers.

Senkrechte Bewegungsflächen gestatten den raschesten Ausgleich von Spannungen in vertikaler Richtung. An radialen Flächen wird zur Verschiebung die geringste Reibung verbraucht. Trotzdem sind in den Faltengebirgen die flacher geneigten Bewegungsflächen viel häufiger und großzügiger als die senkrechten. Es zeigt uns dies das Übergewicht der seitlichen Massenverschiebungen gegenüber den rein vertikalen an.

Die große Reibung entlang der Bewegungsflächen bringt bei entsprechendem Material die Bildung einer eigenen Bewegungsbreccie hervor. Ihre Mächtigkeit kann von wenigen Millimetern bis zu vielen Metern schwanken, ihr Kern kann vom feinsten Gesteinsmehl bis zu riesigen Brocken wechseln. Finden längs einer Bewegungsfläche hin und her wechselnde Verschiebungen statt, so kann es zur Ausbildung von Schubgeröllen kommen. Es gibt so fein zerriebenes Schubmaterial, daß dasselbe wie Magma in die Spalten des benachbarten Gesteins eingepreßt werden kann.

Durchsetzt eine Bewegungsfläche verschiedenartige Schichten und ist die Verschiebung entsprechend ausgedehnt, so können in der Reibungsbreccie Stücke der beteiligten Schichtglieder miteinander vermischt werden.

Der Grad der Vermischbarkeit verschiedenen Gesteinsmaterials längs einer Bewegungsfläche hängt neben der Weite der Verschiebung vor allem von der Schubrichtung ab. Gradlinige Verschiebungen ergeben nur ganz geringe Mischungsmöglichkeiten. Größer werden dieselben bei gebogenen oder hin und her wechselnden Richtungen. Niemals lassen sich jedoch die Mischungsmöglichkeiten im Normstrich von Verschiebungen mit jenen in einem Flußlauf vergleichen.

Verschiebungen von Massen längs geneigter Bewegungsflächen erfordern, wenn sie größere Dimensionen erreichen, ebenfalls wieder die Ausbildung von Zufahrtsstraßen für die Materialförderung.

Durch die faltende und schiebende Bewegung von Massen wird aber nicht nur die Umgebung derselben, sondern auch ihr eigener Leib großen Veränderungen unterworfen. Durch die Faltung geraten horizontal ausgeglichene Schichten in ganz neue Druck- und Zugverteilungen.

In den äußeren Teilen der Lagen entstehen Zugspannungen, in den inneren entgegengesetzte Druckspannungen.

Das ganze Gesteinsmaterial wird von neuen Kräften durchwoben, die insbesondere bei Mithilfe von Wärme und Flüssigkeiten eine der neuen Druckordnung entsprechende Umformung bis zu den kleinsten Teilen erstreben.

Äußert sich die Faltung nicht nur in großen Elementen, sondern tritt auch Kleinfältelung ein, so ist die Umgestaltung eine noch viel intensivere. Da die Falten bei scharfer Biegung im Scheitel ihre schwächste Stelle haben, so kann in einem feingefalteten System sich bei entsprechender Lage und Schiebung eine Schichtung von Scheitel zu Scheitel bilden. Dazu tritt die Pumpwirkung vieler kleinerer und größerer Hohlräume gegen weichere Massen, Flüssigkeiten oder Gase.

Wir stehen da vor einer Auflockerung und unter Umständen äußerst intensiven Gesteinstransformation. Weniger stark sind die Wirkungen von Verschiebungen an Bewegungsflächen im benachbarten Gestein. Sind solche Flächen uneben, so kann ebenfalls leicht eine starke Pumpwirkung, eine Aufsaugung von tieferen Gesteinen entlang der Schubbahn statthaben. Im übrigen äußert sich die Wirkung des Schubes mehr in Zertrümmerungen. Groß sind im allgemeinen die Schürfungs- und Wälzungserscheinungen an der Stirne der Überschiebungen, wo unter Umständen ganze Faltenzonen und Riesenblockwerk vorwärtgeschoben werden. Solche Schürfungszonen gestatten oft, wenn die Überschiebungsdecke schon forterodiert ist, ihre Grenzen wieder zu bestimmen.

Mit diesen kurzen Ausführungen schließe ich meinen Bericht. Ich hoffe, Ihnen an dem Beispiel von Faltung und Schiebung gezeigt zu haben, welche ausgedehnten Bewegungskomplexe hier ins Spiel treten, deren Umfang und Inhalt heute nur in kargen Umrissen bekannt ist.