

Über die Tektonik der Alpen.

VON OTTO AMPFERER, Wien.

Es ist meine heutige Aufgabe, Ihnen ein Bild vom geologischen Aufbau der Alpen zu entwerfen.

Ich könnte diese Aufgabe am leichtesten durch ein Referat über den gegenwärtigen Stand unserer Einsichten und Vermutungen erfüllen, das sich im wesentlichen auf eine Verwertung und Beurteilung der großen und ständig wachsenden Literatur über diesen Gegenstand zu stützen hätte.

Eine solche Arbeit zu leisten entspricht jedoch weder meiner Lebensart, noch würde damit der Ehre unserer Versammlung Genüge geleistet, Gedanken und Ergebnisse zu wiederholen, die vielleicht ohnehin zu oft schon wiederholt wurden und dadurch ihre Frische verloren haben.

So bleibt mir also nichts anderes übrig, als Ihnen über Vorstellungen und Methoden zu berichten, welche mit meiner eigenen Alpenforschung eng verbunden sind, freilich in ständiger Fühlung und Mitberatung mit den Fortschritten anderer Forscher, welchen die Lösung derselben Fragen am Herzen liegt.

Es wird sich dabei allerdings nicht vermeiden lassen, eine Reihe von Streitfragen zu streifen und vielfach von begangenen Wegen abzuweichen mit allen Vorteilen und Gefahren, wie es eben die geistige Pfadsucherei gerade mit sich bringt.

Die Erforschung der Alpen hat sich sehr verschiedener Methoden bedient.

Alle sind nötig, um die großen Schwierigkeiten zu überwinden, aber sie wurden zu verschiedenen Zeiten mit verschiedener Vorliebe verwendet. Jede Zeit hat gewissermaßen ihre geistigen Lieblings-

werkzeuge, mit denen sie am besten vorwärtszukommen meint.

Unsere Zeit hat die tektonische Forschung in den Vordergrund gerückt, und über diese will ich hier weiter berichten.

Die Erforschung der Tektonik der Gebirge, also des inneren Baues derselben, kann in ihrer reinsten als eine Form mechanisch-kinetische Untersuchung betrieben werden, deren Ergebnisse auch nicht verändert würden, wenn die einzelnen Schichten keine Fossilien enthielten.

Ich will nun im folgenden zunächst eine gedrängte Übersicht der wichtigsten Hypothesen über den Bau der Alpen geben.

Die Kürze der Zeit und das Vorwärtseilen verhindern hierbei eine historisch vollständige Aufzählung, und Auslassungen sind daher durchaus nicht etwa als Minderbewertungen zu verstehen.

Stets hat jede wichtige Beobachtung zu einer Hypothesenbildung geführt.

Sie gehören gleichsam wie Blitz und Donner zusammen.

Jede dieser Hypothesen enthält brauchbare und dem Fortschritt dienliche Gedankenwerte. Keine derselben hat aber die Kraft, alle Erscheinungen und Beobachtungen zu durchleuchten oder etwa die künftigen vorherzusagen.

Es wäre Vermessenheit, von einer alleinseligmachenden Lehre zu reden, und ein trauriges Ende all des rastlosen Suchens und Denkens ebenso schrecklich, wie statt der großartigen Unendlichkeit des Weltraums eine bestimmte und bekannte Endlichkeit desselben wäre.

Überblickt man die Reihenfolge der zur Erklärung des Alpenbaues verwendeten Hypothesen, so erkennt man unschwer, wie die ständig genauer eindringenden Beobachtungen ein immer höheres Maß von Beweglichkeit für das Zustandekommen dieses Bauwerkes verlangten.

Wenn man bedenkt, daß Gesteine als Bau-

materialien nur mangelhafte und oft schwer verständliche Auskünfte über ihre Durchbewegung zu geben vermögen, so wird man die Abneigung der älteren Geologen gegen die Verwendung von großen Bewegungsausmaßen begreifen. Es zeigt sich nun aber, daß auch in der Feinstruktur der alpinen Gesteine, soweit sie nicht gerade lokal geschont wurden, hohe Bewegungssummen verborgen sind.

Noch größere Summen geben sich in den Quer- und Längsprofilen zu erkennen, die allergrößten aber, wenn man die Schlingen der Faltengebirgsstränge derselben Betrachtungsweise unterwirft.

Dieses Ergebnis hängt unmittelbar mit den verschiedenen Dimensionen zusammen, in denen die vollzogenen Bewegungen verzeichnet wurden, und wir erkennen, daß zur Beurteilung jener Bewegungen, welche einst die Alpen erschaffen haben, am besten gleich große oder noch größere Aufschreibtafeln geeignet sind.

Also werden uns die großen FaltenSchlingen über die Gesamtausmaße verlässlicher berichten können, als dies Dünnschliffe oder Profile jemals vermögen.

Ich schalte nun hier eine kurze Charakteristik der Hauptideklarungsversuche ein.

Steilstellung der Sedimente an den Außenrändern, das Auftreten großer Eruptivmassen in der Mittelachse und ein im Querschnitt symmetrischer Bau begründeten die vulkanische Erhebungslehre, welche mit dem Namen LEOPOLD VON BUCH verbunden bleibt.

Außerordentliche Schichtmächtigkeiten und marine Ausbildung innerhalb der Faltengebirgszonen, außerhalb derselben Schichtarmut und Schichtlücken führten zur Aufstellung der Geosynklinalhypothese und weiter zu jener der Isostasie.

Einseitigkeit des Schichtbaues, Passivität der Zentralmassive und Mitfaltung derselben, im Sinne der Einseitigkeiten nach außen gekrümmte Gebirgsbögen leiteten zur Lehre von der tangentialen Faltung der Erdkruste und weiter zur Begrün-

ding der Kontraktionslehre hin. **EDUARD SUESS** hat dieser Lehre in seinem Antlitz der Erde **monumentalen** Ausdruck verliehen und **ALBERT HEIM** in seinem **Mechanismus der Gebirgsbildung** eine **ausgezeichnete technische Darstellung der symmetrischen und unsymmetrischen Faltung** geliefert.

Der Fortschritt der Aufnahmen wies auf immer gesteigerte Einseitigkeit der Faltung und immer ausgedehntere Schubmassen hin. Dies fand endlich seinen Ausdruck in der Überfaltungslehre, welche von **BERTRAND** und **SCHARDT** eingeleitet, von **LUGEON** und **TERMIER** einen glänzenden Ausbau erhielt.

Ihre Übertragung in die Ostalpen haben zuerst **TERMIER** und **HAUG**, später **STAUB** besorgt. Von den ostalpinen Geologen hat sich zuerst **UHLIG** mit einigen seiner Schüler dieser neuen Auffassung des Alpenbaues angeschlossen, und nach seinem Tode ist **LEOPOLD KOBER** der Führer des ostalpinen Nappismus geworden. Nach dieser Lehre bestehen die Alpen aus einer Anzahl von riesigen Falten, welche steil aus sog. Wurzelzonen herausgepreßt, nach außen umgelegt und übereinandergeschoben sein sollen.

Diese Lehre, welche heute bereits in den meisten Lehrbüchern der Geologie Aufnahme gefunden hat, kann derzeit wohl als die offizielle Alpenklärung bezeichnet werden.

Neben und außerhalb der Kontraktionslehre haben sich andere Vorstellungen entwickelt, welche nicht die Mithilfe der Erdkontraktion benötigen.

Hierher gehören die vulkanischen Erhebungshypothesen, die Abgleitungshypothese von **REYER** und **VACECKS** Vertikalschwankungshypothese mit transgressiver Einlagerung der jeweils jüngeren Sedimente in ein älteres Gebirgsrelief.

Auch die Isostasielehre braucht die Erdkontraktion nicht zur Mithilfe, wie neuerdings **SANDBERG** wieder gezeigt hat.

Ich selbst habe seit 1906 die Meinung vertreten,

daß die irdischen Faltengebirge nur Abbildungen von Strömungen sind, welche in ihrem Untergrunde sich abspielen.

Diese Unterströmungshypothese macht die Gebirgsbildung von der Erdkontraktion völlig unabhängig, ohne dabei über das Vorhandensein derselben selbst etwas auszusagen.

Mit diesen wenigen Angaben will ich die historische Einleitung beschließen und nun eine Darstellung der alpinen Mechanik versuchen. Ich gehe dabei von den im Mikroskop erkennbaren Feinstrukturen der Gesteine aus und wende mich dann zu immer größeren gesteinsgefüllten Bewegungsräumen, um mit den großen Faltengebirgsschlingen einen Abschluß zu erreichen.

Alle hierhergehörige Beobachtung ist eine optische, also ein Erfassen und Ordnen der Dinge mit dem menschlichen Auge.

Seine Kleinheit und Schwäche macht die Methoden ungemein mühsam und verhindert insbesondere bei allen größeren Räumen eine direkte und unmittelbare Kenntnisnahme.

Die Gesteine bestehen in der überwiegenden Mehrheit aus verschiedenartigen Bestandteilen, die in mannigfaltigen Verbänden ihre Massen zusammensetzen.

Man kann sich nun von vielen Standpunkten aus mit der Zusammensetzung der Gesteine beschäftigen. Wichtige Standpunkte, die schon vielerlei Einsichten ergeben haben und durchaus noch nicht erschöpft sind, sind die mineralogische Betrachtung, die chemisch-physikalische, die Untersuchung der Fossilgehalte und der Entstehungsgeschichte.

Man kann die Gesteine aber auch einfach als Ordnungen kleiner und kleinster Teilchen begreifen und weiter dann versuchen, von solchen erkannten Ordnungen aus die dazugehörigen Bedingungen der Umgebung zu studieren.

Als Ordnungen werden hier in eingeschränktem

Sinne nur jene Formen herangezogen, die noch durch eine einfache gegenseitige Beziehung mit dem Auge irgendwie überblickbar und prüfbar sind.

Es ist dies natürlich nur eine sehr bescheidene Auslese, doch verliert ohne eine solche Einschränkung dieser Begriff seine Benutzbarkeit, insofern als man schließlich jeden Zustand als Ordnung nehmen kann, auch wenn derselbe nur einen Moment besteht und niemals menschlich überblickbar oder erkennbar wird.

Die Ordnungen, mit welchen es der Geologe bei der Gesteinsuntersuchung vor allem zu tun hat, sind teils solche, welche bei der Bildung des betreffenden Gesteins entstanden und seitdem im wesentlichen beibehalten worden sind, teils solche, welche im wesentlichen aus späteren Umformungen hervorgegangen sind, die das schon fertige Gestein betroffen haben.

Man kann die ersten Ordnungsarten als angeborene, die zweiten als erworbene bezeichnen.

Von den hier in Betracht kommenden Ordnungen ist bisher nur ein Teil erforscht, und zwar vor allem der rein mineralogische, während die Feinstrukturen, wie sie unter den verschiedenartigen Bedingungen des Absatzes in fließendem oder ruhigem, in seichtem oder tiefem, in kaltem oder warmem Wasser, bei Anwesenheit und Mitwirkung anderer Stoffe . . . bei der Erstarrung von Schmelzflüssen unter wechselndem und gleichem Druck, in verschiedener Umgebung, zwischen ruhigen oder bewegten Gesteinsmassen . . . in weitestem Umfang noch der Erforschung harren.

Noch ausgedehnter ist das Arsenal der nach der Geburt erworbenen Strukturen, deren Erforschung erst im Anfangsstadium steht. Hier bedeuten die Arbeiten von BR. SANDER, welcher die tektonische Erforschung des Dünnschliffbildes, also die Mikrotektonik, begründet hat, vielfache Richtlinien für die Erkenntnis jener Gesteinsstrukturen, welche durch tektonische Vorgänge herbeigeführt wurden.

Solche Gesteine, welche im Baumaterial der Alpen eine hervorragende Rolle spielen, wurden von SANDER allgemein als Tektonite bezeichnet.

Bei der Erforschung der Materialumwandlungen, welche bei den tektonischen Bewegungen entstehen, hat sich nun gezeigt, daß im allgemeinen die angeborenen Strukturen eine große Haltbarkeit besitzen und die späteren Umformungen sich gerne der schon vorhandenen Erstordnung der Teilchen anschließen, sofern dies irgend möglich ist.

Insbesondere erweist sich z. B. primäre Feinschichtung als eine vorzügliche Dauerordnung, welche oft noch nach gewaltsamen Pressungen und Verfaltungen die Ausgangsstruktur erkennen läßt.

Bei der Buntheit und Vielgestalt der Teilchen in vergrößerten Dünnschliffbildern der Gesteine ist das Erkennen von durchgreifenden Ordnungen oder von Gefügeregelungen keine leichte Aufgabe. In vielen Fällen lassen sich sogar solche Ordnungen bei schwächeren Vergrößerungen, im Handstück oder an geschliffenen Felsen oder sogar bei unscharfer Einstellung leichter auffinden als bei starker Vergrößerung und deshalb sehr kleinem Gesichtsfeld.

Die Mikrotektonik ist ein Forschungsgebiet für sich, sie hat aber auch für die Tektonik größerer und großer Massen vielfache Bedeutung.

Zu dieser Verwendung ist es nötig, daß die im Mikroskop feststellbaren Veränderungen solche sind, welche in der Großtektonik dann als Summationen der Kleintektonik auftreten. SANDER hat diese Forderung als Korrelation zwischen Mikro- und Makrotektonik festgehalten.

Wenn wir einen Metallstab besitzen, dessen Feinstruktur untersuchen, den Stab dann einer Streckung unterwerfen und neuerdings die Feinstruktur prüfen, so werden wir mit hoher Wahrscheinlichkeit die nun feststellbaren Änderungen der Feinstruktur auf Rechnung der eingetretenen Streckung setzen können.

In diesem Falle wird sich die Streckung des

ganzen Stabes als eine Summe der Streckungen ergeben, die wir im einzelnen Dünnschliff zu erkennen vermögen.

Da man hier die Gesamtwirkung kennt, ist die Genauigkeit der Methode unschwer festzustellen, und man kann umgekehrt aus den Dünnschliffangaben auf die Großänderungen schließen.

In der Geologie besitzen wir keine so einfache, experimentelle Kontrolle.

Wenn wir z. B. beobachten, daß die oberjurassischen Aptychenkalke an geschonten Stellen im Durchschnitte Schichtlagen von ca. 1 dm Dicke bilden, an anderen Stellen aber auf etwa 1 mm Dicke ausgewalzt sind, so können wir daraus noch nicht auf eine etwa hundertfache Verlängerung und Verbreiterung dieser Schichtzone schließen, weil möglicherweise diese Verdünnung durch eine entsprechende Verdickung in ihrer Gesamtwirkung aufgehoben wird.

Es ist also eine ständige Fühlung zwischen der Erforschung des Klein- und Großgefüges nötig, wenn die Ergebnisse zur richtigen Einschätzung gelangen sollen.

Bei den krystallinen Gesteinsarten spielen neben rein mechanischen Umformungen auch noch die Einflüsse von Krystallisationen mit, welche durch Gase oder Lösungen oder Magmen von hoher Temperatur leicht herbeigeführt werden können.

Hier ist das ebenfalls von SANDER eingehend studierte zeitliche Verhältnis zwischen den mechanischen Deformationen und den Umkrystallisationen von Interesse.

Geologisch bedeutsam wird die Feststellung vom gegenseitigen zeitlichen Verhältnis zwischen Mechanik und Krystallisation, wenn dieses Verhältnis ungefähr gleichbleibend über größere Räume anhält.

Bei zu raschem Wechsel ist die Erforschung wegen der Herstellung und Prüfung allzuvieler orientierter Schriffe ein mühsames und teures Unternehmen.

Für die Tektonik ist das Verhältnis von Mechanik und Krystallisation ebenfalls überaus wichtig. Die Mechanik größerer Erdtiefen erhält durch die leichtere und häufigere Mitwirkung von Umkrystallisationen das Gepräge weit höherer Beweglichkeit und reiner fließender Formgestaltung.

Hier gewinnt für den Tektoniker auch die Frage Reiz, in welchem Ereigniswert Mechanik und Krystallisation zueinander stehen. Das heißt mit anderen Worten, ob z. B. eine mechanische Umformung das Ergebnis eines großen tektonischen Vorganges, die Umkrystallisation aber vielleicht nur ein vorübergehendes Tiefertauchen an einer Bewegungsbahn verkündet.

Auch der umgekehrte Fall ist möglich, daß nämlich die Krystallisation das Produkt einer mächtigen und lange andauernden Versenkung ist, während die nachfolgende mechanische Zertrümmerung vielleicht beim kurzen Aufreißen und Zustoßen von Spalten entstanden ist. Die Frage nach den Ereigniswerten von Strukturen wird in den Alpen noch dadurch erschwert, als wir hier im Bereiche des krystallinen Gebirges jene bequemen historischen Zeitmarken nicht besitzen, die in den Nordalpen durch die Transgressionen von Zenoman-Gosau-Tertiär-Glazial eingezeichnet und unserer Zeitrechnung doch einigermaßen zugänglich sind. Es ist jedoch zu hoffen, daß hier die Radium- und Atomforschung vielleicht neue Wege und Einsichten zu eröffnen vermag.

Wir sind bereits dazu gelangt, die Wichtigkeit der Feinstrukturen für die Deutung und das Verständnis der Großstrukturen richtig einzuschätzen.

Es gibt aber auch eine Reihe von Fragen, wo uns die Erforschung der Feinstrukturen allein noch Auskunft geben kann.

Es sind dies z. B. Fragen nach der Tiefe und der Temperatur, kurz nach der Beschaffenheit jener Räume, in denen die heute vorliegenden Strukturen sich gebildet haben können. Eine wichtige

Frage ist weiter, unter welchen Umständen und bis zu welchem Grade eine Anpassung der Feinstrukturen an ihre Umgebung erfolgt.

Würde sie rasch und jederzeit erfolgen, so müßten z. B. in einem von der Erosion bearbeiteten Hochgebirge auch die ursprünglich tief liegenden Gesteinsschichten allmählich oberflächennahe Strukturen gewinnen. Dies ist sicher nicht der Fall.

Es muß also Räume und Zeiten gegeben haben, in denen die Umprägungen der Strukturen vor sich gegangen sind und wo dieselben zugleich vielfach so haltbar geworden sind, daß sie in der Folge diese Strukturen auch in Orten und Zeiten zu bewahren vermochten, wo sie nicht mehr zur Umgebung passend sind.

Es unterliegt wohl kaum einem Zweifel, daß die tieferen Erdräume mit ihren Wärmeschätzen und heißen Lösungen in erster Linie die Prägestätten neuer krystalliner Strukturen sind, es ist aber weiter recht wahrscheinlich, daß auch in diesen Tiefen die Umformungen nicht ständig gleich, sondern in Zeiten der Gebirgsbildungen und Magmabewegungen mit gewaltigen Steigerungen vor sich gegangen sind.

Im Bereiche der sedimentären Gesteine hat die Erforschung der Feinstrukturen etwas andere Aufgaben.

Hier spielen die Umkrystallisationen eine bescheidene Rolle, und die Hauptaufgabe bleibt die Feststellung der sedimentären Ausgangsstruktur und ihrer späteren Umgestaltungen.

Den Wert der Sedimentpetrographie hat vor allem ANDRÉE seit langer Zeit betont. In Frankreich, in Deutschland und in der Schweiz besitzen wir schon zahlreiche hierhergehörige Arbeiten, während in Österreich erst Anfänge zu verzeichnen sind. Auch hier hat SANDER mit seinen Arbeiten über die Bitummengel neue Wege angebahnt.

Der Übergang von den Feinstrukturen zum Handstück, zur Felswand und zum Gebirgsprofil

ist nur mit steter **Achtung auf die Zusammengehörigkeit** der Strukturen zu vollziehen.

Die Möglichkeit einer falschen Beziehung von Feinstrukturen auf eine heutige Großform, zu der sie aber innerlich nicht gehören, ist in manchen Fällen bedenklich nahegerückt. Es ist sogar möglich, daß die Ermüdung der Gesteine und die Erschöpfung ihrer Anpassungsfähigkeit Zustände vorspiegelt, die bei normalen Verhältnissen ein ganz anderes Aussehen haben.

Tausende von geologischen Durchschnitten sind heute bereits kreuz und quer über die Alpen gezogen, und wir legen uns die Frage vor, was man etwa in Kürze als die mechanischen Hauptergebnisse dieser vielseitigen geistigen Durchleuchtung bezeichnen kann.

Zunächst finden wir in den ganzen Alpen nicht eine Falte, welche etwa die ganzen hier entwickelten Schichtglieder einheitlich ergriffen hat.

Immer und überall treten Störungen dazwischen, welche das Bauwerk gleichsam in einzelne, verschiedene Stockwerke zerlegen.

Unter jeder enggefalteten Zone muß eine Schubfläche eingeschaltet sein.

Dies ergibt eine einfache geometrische Konstruktion. Also bedingt Engfaltung notwendig die Ablösung vom Untergrund. Mit dieser Ablösung ist aber schon eine Gliederung in Schubmassen gegeben. In den sedimentären Teilen der Alpen treffen wir meist Schubmassen, welche etwa eine Mächtigkeit von 2000—3000 m, selten darüber, einhalten.

Im krystallinen Gebiete ist die Dimensionierung nicht wesentlich höher.

Es tritt hier jedoch oft an Stelle einer Schubahn ein Bewegungshorizont, eine Mylonitzone oder eine Eruptivmasse, wodurch die zur Gesamtbewegung nötige Gliederung der Massen oder ein Wechsel im Bauplan erreicht wurde. Es erhebt sich gleich die Frage, ob die Zerlegung in so verhältnismäßig dünne Schubmassen das Primäre und

die Engfaltung das Sekundäre ist oder die Verhältnisse umgekehrt liegen.

Sieht man genauer zu, so erkennt man, daß die Zerlegung in Schubmassen wohl das Primäre sein muß und die Engfaltung erst nach der Ablösung vom Untergrunde erfolgte.

Als Ursache der Zerlegung stellen sich sehr häufig besonders gleitfähige, plastische Schichtzonen heraus. Das würde wenigstens in vielen Fällen für die Zerlegungen ein Abgleiten im Schweregefälle wahrscheinlich machen.

Die Verfaltung der Schichten aber wäre in solchen Fällen durch die Gleitung verursacht, und zwar entweder durch Unebenheiten der Fahrbahn oder durch ungleiche Reibung und ungleiche Geschwindigkeiten.

Eilen die Hangendschichten voraus, so kann bei dazu geeignetem Material eine nach abwärts gekrümmte Einrollung entstehen, eilen aber die Liegendschichten voraus, so bilden sich aufsteigende Einrollungen heraus.

Unter günstigen Umständen ist mit diesen bescheidenen Mitteln und unter dem nötigen Druck die Erzeugung von großen Liegfalten möglich.

Es ist aber wohl zu bemerken, daß bei dieser Ableitung der Liegfalten die Gleitung oder Schiebung der erste Akt und die Einrollung der zweite ist, welcher nur bei günstigen Umständen zur vollen Entfaltung gelangt. Die Einrollung von Schichten infolge von ungleicher Bewegung kann man auch als Wirbelbildung bezeichnen.

Nach der horizontalen Ausgangslage der sedimentären Schichten wird man es bei Gleitungen oder Schiebungen vor allem mit Wirbeln mit mehr oder minder horizontalen Achsen zu tun haben.

Der Vergleich mit Wirbelbildungen ermöglicht nun auch die Auflösung von vielen ungemein kompliziert verschlungenen Formen, die keine Falten sind, wie sie etwa durch seitliches Zusammenpressen entstehen.

Die Tektonik hat bisher fast ausschließlich mit Pressungsfalten gerechnet.

Ohne Frage spielen auch solche beim Alpenbau eine wichtige Rolle.

Daneben aber kommen in zahlreichen Fällen auch Wirbelgebilde vor, die einem ganz anderen Mechanismus entsprungen sind.

Die Unterschiede zwischen Pressungsfalten und Roll- oder Walzfalten sind auffallend. Als Endziel der Pressungsfaltung kann man die Senkrechtheitstellung der Schichtglieder bezeichnen. Es ist dies eine sehr einfache Anordnung der Schichten im Fallen, welcher zumeist auch im Streichen ein lang ausdauerndes Hinziehen entspricht.

Weiter stehen bei der Pressungsfaltung die einzelnen Nachbarfalten in einem strengen Abhängigkeitsverhältnis. Es kann keine einzelne verändert werden, ohne daß auch die Nachbarn daran Anteil nehmen.

Für die Roll- und Walzfaltung ist im Gegenteil ein lockerer Verband, weitgehende gegenseitige Unabhängigkeit, lebhaftes, rasch wechselnde Formgebung geringe Ausdauer im Fallen und Streichen bezeichnend.

Während man bei der Pressungsfaltung aus einzelnen erhaltenen Resten unschwer Luft- oder Erdverbindungen konstruieren kann, ist dies bei Wirbelgebilden viel schwieriger möglich, weil die einzelnen Wirbel vielfach für sich gebildet wurden und von der Nachbartektonik ziemlich unabhängig sind. Eine Folge dieser Bauweise ist auch ein großes Ersparnis von Luftverbindungen, wenn man etwa versuchen will, aus Erosionsresten auf ehemalige Vollformen zu schließen. Jedenfalls erfordert die Ergänzung derselben Erosionsreste zu vollständigen Pressungsfalten meist einen weit größeren Massenaufwand.

Es sind also Walzfalten trotz großer Kompliziertheit eine innerlich sehr sparsame Bauform.

Wenn die hier vorgetragene Ableitung stimmt,

so muß zur Zeit der Abgleitung ein entsprechendes Gefälle und eine entsprechende Deckschubmasse vorhanden gewesen sein.

Weiter muß die Einrollung im Sinne dieses Gefälles erfolgt sein.

Durch das Abgleiten ergibt sich dann unmittelbar in der einen Richtung eine Schichtenanhäufung, in der entgegengesetzten dafür ein Schichtenausfall.

Zwischen diesen beiden mechanisch so charakterisierten Zonen muß endlich die Gefällstrecke selbst eingeschaltet gewesen sein.

Geht man die alpinen Querprofile prüfend durch, so entdeckt man in den Kalkalpen am ganzen Außenrand der Alpen zunächst einmal eine mehrfache Übereinanderhäufung von Schubmassen. Wo immer Sie heute diese Gebirgszone kreuzen, werden Sie einen Aufbau aus mehreren übereinanderliegenden Schubmassen entdecken. Die geologische Landesaufnahme der letzten 3 Dezennien hat diese Auflösung des Gebirgskörpers in einzelne Schubmassen größtenteils schon durchgeführt.

Wenn in den Westalpen dabei mehr von Überfaltungsdecken und in den Ostalpen mehr von Schubmassen die Rede ist, so liegt dies zunächst im verschiedenen Gesteinsmaterial begründet.

Die mächtigen Triaskalke und Dolomite der Ostalpen sind zu feinen Verfaltungen nicht zu brauchen.

Wo aber in den Ostalpen plastischere Schichtserien, wie z. B. in den Lechtaleralpen, auftreten, haben wir auch sofort den lebhaften Faltschwung. Umgekehrt, wo in den Westalpen schwere, starre Massen, z. B. Verrukano, am Bau teilnehmen, sind auch gleich die glatten Überschiebungen da. Außerdem hat aber auch die westalpine Tektonik vor allem Faltungsmuster nach HEIM zur Erklärung benutzt, während in den Ostalpen mehr mit Verwerfungen und Überschiebungen nach BITTNER und ROTHPLETZ gearbeitet wurde. Beide Methoden haben Berechtigung, solange man allzu schematische Anwendungen vermeidet.

Südlich von dieser heute offenkundigen Anhäufungszone liegen nun zwar nicht mehr zusammenhängend, aber doch an vielen Stellen mächtige Aufwölbungen, welche als Schwellen für große Ableitungen in Betracht kommen.

In der Schweiz ist das Finsteraarhornmassiv das großartigste Beispiel. In den Ostalpen habe ich solche Grundgewölbe mehrfach gefunden, so z. B. auch in der Nähe von Innsbruck am Stanserjoch.

Für die Ostalpen gilt nun weiter noch eine wichtige Gesetzmäßigkeit:

Wir finden im Bereiche dieser alten Aufwölbungen ständig große Schichtlücken, dagegen im Bereiche des nördlicheren Senkraumes unter den Schubmassen einen auffallenden Schichtreichtum.

Die genauere Besichtigung hat nun ergeben, daß diese südliche Hebungszone schon in sehr früher Zeit bereits der Erosion ausgesetzt war, während in dem Senkraum noch Schichtablagerung stattfand.

Zur Zeit der großen Überschiebungen und Ableitungen waren in die südliche Hebungszone schon tiefe Erosionsfurchen eingeschnitten, welche bei diesen ersten Fernüberschiebungen mit fremden Gesteinsmassen ausgestopft wurden.

Auch hierfür bietet das Stanserjoch wieder ein prächtiges Beispiel.

Nachdem wir in den Senkräumen unter den ersten Fernüberschiebungsmassen nur Schichten bis zum Zenoman begegnen, ist anzunehmen, daß dieselben bereits in vorgosauischer Zeit eingewandert sind.

Die erste Fernüberschiebung ist in den Ostalpen eine typische Reliefüberschiebung, das heißt eine Überschiebung, welche über ein bereits kräftig von der Erosion ausgeschnittenes Relief hinweg erfolgte. Ob für die Westalpen auch ähnliche Erscheinungen in Betracht zu ziehen sind, wage ich nicht zu behaupten.

Überschreiten wir nun diese Erhebungszone, welche zur Zeit der Überschiebung und Ableitung

wahrscheinlich wesentlich höher war, so finden wir tatsächlich eine Zone, welche ebenfalls entlang der ganzen Alpen hinzieht und ein Gebiet auffallenden Schichtausfalles darstellt.

Es ist indessen nicht möglich, diesen mächtigen Schichtausfall etwa allein auf Rechnung einer ausgedehnten Abgleitung zu setzen.

Die häufige Kombination einer Schwelle mit einem Senkraum und gefällsrichtiger Anhäufung von Schubmassen in letzterem sowie des Auftreten von lebhaften Walzfaltungen machen die mechanische Zusammengehörigkeit dieser Formengruppe sehr wahrscheinlich. Natürlich kommt die Gleitung nur für die Gefällstrecke nördlich der Schwelle in Frage. Aus deutlichen Gleit- und Walzstrukturen kann man auch dort auf ein zur Bildungszeit vorhandenes Gefälle schließen, wo es heute nicht mehr erhalten ist.

So können die Gleitstrukturen einen Einblick in längst verschwundene Gefällstrecken gestatten.

Durch die Ausstopfung mit Schubspänen sind uns außerdem teilweise uralte Hohlräume bis heute bewahrt verblieben.

Wie wir heute wissen, sind wenigstens in den Ostalpen auf diese erste gewaltige Massenwanderung in vorgosauischer Zeit für die Nordalpen zwar keine neuen Fernzuschüsse mehr erfolgt, wohl aber wurden die alten Schubmassen von der Erosion tief zerschnitten, die Lücken vielfach mit Gosauschichten ausgefüllt und das ganze Bauwerk neuerdings in Bewegung versetzt und enger und tiefer aufgeschuppt.

Auch damit war noch kein Ruhezustand erreicht, denn wir entdecken auch noch im Tertiär das Eingreifen weiterer Verschiebungen, und wahrscheinlich sind ja auch die Talverbiegungen im Diluvium noch auf Rechnung der Gebirgsbildung zu stellen.

In den Westalpen werden die großen Überfaltungen in eine wesentlich jüngere Zeit verlegt.

Ob und in welchem Ausmaß auch dort ältere Gebirgsbewegungen vielleicht von den gigantischen jüngeren Bewegungen überdeckt worden sind, entzieht sich derzeit meiner persönlichen Einsicht. Das berühmte Dogma von der zeitlichen und mechanischen Einheitlichkeit des Alpenbaues dürfte wohl auch im Westen schon zerbröckeln. Im Osten hat es niemals Glauben gefunden. Wir haben aber nicht nur eine ganze Reihe von großen gebirgsbildenden Bewegungsphasen, welche teilweise durch lange Zeiten der Abtragung und Einsedimentierung voneinander getrennt sind, wir können auch keine einheitliche Bewegungsrichtung feststellen. Für die ersten Fernüberschiebungen und Abgleitungen ist in den Ostalpen eine Richtung von S gegen N sehr wahrscheinlich.

Die späteren Verschiebungen weichen aber von dieser Richtung teilweise erheblich ab.

Einerseits folgen sie offenbar dem Gebirgsstreichen, andererseits stellen sich schräg dazu Bewegungsstöße ein.

Vielfach scheint es dabei zu drehenden Bewegungen gekommen zu sein, wie solche erstmals von OGILVIE GORDON aus den Südtiroler Dolomiten beschrieben werden sind.

Wir sind mit der mechanischen Bauauflösung bis zur Konstatierung jener Fehlzone gekommen, welche sich im Süden der breiten Anhäufungszone hinzieht.

Es ist dies im Westen die Rhon-Rhein-Linie, im Osten die Grenze zwischen nördlichen Kalkalpen und Grauwackenzone.

Ob man diese Zone nun als Wurzelzone im Sinne des Nappismus oder als Verschluckungszone in meinem Sinne beschreibt, so ist damit jedenfalls eine bedeutungsvolle Lücke im Alpengefüge gegeben.

Das südwärts von dieser Zone liegende zentrale Gebirge, welches vorherrschend aus krystallinen Gesteinen besteht, zeigt eine andere Struktur und

kann nicht einfach als eine Fortsetzung der nördlicheren Zone verstanden werden. Es ist aber auch gewiß nicht möglich, die nördliche Anhäufungszone nur als eine Ableitungsdecke der Zentralalpen aufzufassen.

Die Zentralalpen bestehen zu großem Teil aus mächtigen Gneiß- und Granitmassiven.

Hier stehen sich im allgemeinen etwa 3 verschiedene mechanische Typen gegenüber, erstens steilgestellte, enggepreßte, alte Massive, von denen wir wissen, daß ihre Faltung schon in paläozoischer Zeit erfolgte, zweitens große Liegfalten, welche noch Trias, ja sogar noch Tertiär eingefaltet enthalten, drittens große, ebenfalls junge Durchbruchsmassen, wie das Bergeller- und Adamellomassiv.

Vom rein mechanischen Standpunkte aus können diese 3 Erscheinungsformen unschwer miteinander verbunden werden.

Die steilgepreßten, alten Massive stellen ein Ausgangsmaterial für die alpine Gebirgsbildung dar, das in großen Räumen zur Zeit dieser Gebirgsbildung umgeschmolzen und umkrystallisiert wurde.

Je nachdem nun das Schmelzgut zwischen ruhige Schichtmassen oder zwischen in Bewegung befindliche, überrollende Massen eingepreßt wurde, kamen entweder große Eruptivlaibe oder liegende Walzfalten zustande. Es ist naheliegend, daß sich ein solches System von Gneißwalzfalten nur unter einer schweren, darübergelassenen Deckschubmasse ausbilden konnte.

Diese mechanische Forderung scheint sowohl im Gebiet der Simplonzone wie in den Tauern erfüllt zu sein.

Nach den früheren Ausführungen haben wir auch unter den alten steilgepreßten Gneißmassiven, wie z. B. Silvretta oder Ötztaler Masse, flache Schubbahnen zu erwarten. Diese alten Massive haben ihre Autochtonie schon in paläozoischer Zeit verloren. Seither sind diese alten Bewegungsbahnen jedenfalls noch öfter benutzt und umgestaltet worden.

Die Grenze der Zentralalpen gegen die südlichen Kalkalpen ist ebenfalls wieder eine tiefe Fuge im Alpenkörper, welche bereits durch EDUARD SUESS als dinarische Narbe beschrieben worden ist.

Auch hier gehen die Meinungen über die Mechanik dieser Baufuge weit auseinander.

Während E. SUESS in dieser Linie die Grenze zwischen Alpen und Dinariden sah und daher die Südalpen von den Alpen abtrennte und zu den Dinariden rechnete, haben SALOMON und KOSSMAT diese Linie als eine das Senkungsfeld der Adria umspannende Bruchzone dargestellt.

Für die Überfaltungslehre bedeutet dieselbe eine Hauptförderlinie, ja es wurde die Annahme ausgebaut, daß die Dinariden einst als gewaltige Deckschubmasse über die Alpen vorgedrungen seien und diese überwältigt hätten.

Die Struktur der Südalpen fügt sich jedoch nicht in dieses Bild. Sie bestehen ähnlich wie die Nordalpen aus mehreren Schubmassen, welche aber eine Hauptbewegungsrichtung gegen die Adria hin zeigen.

Es scheinen aber auch hier verschiedene Bewegungsrichtungen nacheinander betätigt worden zu sein.

Die bisherige Auflösung der südalpinen Schubmassen verdanken wir insbesondere OGILVIE GORDON, KOSSMAT, FOLGNER, KOBER, SCHWINNER und in letzter Zeit WINKLER.

Überschauen wir nocheinmal die Grundzüge dieser Gliederung der alpinen Mechanik, so erkennen wir 3 nebeneinanderliegende Zonen, von denen die zwei äußeren aus flach übereinanderliegenden Schubmassen bestehen, die später noch enger geschuppt und verfaltet wurden. Wir haben es ausschließlich mit oberflächennahen Strukturen zu tun.

Die krystalline Mittelzone ist komplizierter gebaut und zeigt vielfach Strukturen, wie sie nur unter schwerer Belastung in größerer Erdtiefe zustande kommen können.

Die einzelnen Zonen sind in ihrer Bauweise weitgehend unabhängig voneinander.

Sie gehören nicht als Fortsetzungen einfach zusammen, sondern werden durch tiefgreifende Fugen geschieden.

Die Bewegungsausmaße sind in jeder dieser Zonen auffallend groß und zielen scheinbar weit über den eigenen Zonenbereich hinaus. An Stellen besonders lebhafter Faltung läßt sich unschwer eine Fließbewegung vom Höheren zum Tieferen erkennen.

Wir verlassen nun diese im wesentlichen auf geologische Quer- und Längsprofile gestützte Betrachtung und versuchen noch kurz, eine mechanische Auflösung der mediterranen Faltengebirgsschlingen zu geben.

Die mediterranen Faltengebirgsschlingen lassen sich nach dem Vorbild von L. KÖBER in zwei Stränge zerlegen, von denen der nördliche aus betischer Kordillere, Pyrenäen, Alpen, Karpathen, Balkan und Kaukasus besteht, während der südliche sich aus Atlas-Apennin-Dinariden-Helleniden-Tauriden-Iraniden zusammen schließen läßt.

Die Verbindungen zwischen diesen Gebirgsstücken sind größtenteils im Meer versenkt und also nicht unmittelbar prüfbar.

Immerhin haben die Zusammenschließungen einen ziemlichen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Man kann nun diese mächtigen Verbiegungen der mediterranen Faltenstränge einfach als naturgegeben betrachten.

Man kann aber auch versuchen, diese hochkomplizierten Formen auf einfachere Ausgangsstrukturen zurückzuführen.

Einen solchen Versuch zur mechanischen Auflösung dieser Faltengebirgsschlingen habe ich vor einiger Zeit unternommen.

Er geht von der Annahme aus, daß ursprünglich zwei miteinander ungefähr parallele, ostwestlich verlaufende Faltenstränge vorhanden waren, wel-

che durch ein andersgebautes Mittelfeld voneinander getrennt waren.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurde nun dieses Zweistrangsystem zu den heutigen Schlingen verbogen.

Eine solche Verbiegung ist nur möglich, wenn gleichzeitig das Mittelfeld an bestimmten Stellen stark verengert, an anderen dafür stark verbreitert wird.

Diese Verengerungen und Verbreiterungen müssen miteinander in Verbindung stehen, ebenso wie die Verdünnung eines Faltenschenkels mit den zugehörigen Verdickungen an den Bugstellen.

Bei der Starrheit der oberflächennahen Gesteinsmassen kann ein solcher Massenausgleich nur in größerer Tiefe vor sich gehen. An der Oberfläche wirksam kann ein solcher Ausgleich dadurch werden, daß an den Verengerungsstellen Zusammenschiebungen, Einsaugungen und Einschmelzungen stattfinden, an den Verbreiterungsstellen dagegen Aufreißungen und Magmaeinfüllungen.

Der Ausgleich wird im allgemeinen kein vollständiger sein.

Daher ist es von vornherein wahrscheinlich, daß an den Verengerungsstellen hohe Gebirge, an den Verbreiterungsstellen dagegen Tiefländer oder Meeresbecken liegen, welche eine reiche Mitgift an Eruptivmassen besitzen.

Das Studium einer geologischen Karte der Mittelmeerländer bestätigt diese zunächst rein mechanische und geometrische Forderung. Innerhalb des Karpathenbogens liegt die tiefe Einsenkung des ungarischen Beckens mit ihrem reichen Eruptivkranz, innerhalb des noch größeren Bogens von Atlas und Apennin die Versenkungs- und Vulkanzone des Tyrrhenischen Meeres, innerhalb des Bogens von Helleniden—Tauriden die gewaltige Auflockerungs- und Eruptionszone des Ägäischen Meeres.

Wo sich anderseits die Faltenstränge nahe an-

einanderdrängen, liegen die hohen Gebirge versammelt.

Das schönste und mannigfaltigste derselben sind unsere Alpen.

Es fragt sich nun, was diese mechanische Auflösung der mediterranen Faltengebirgsschlingen für die Mechanik der Alpen selbst bedeutet. Zunächst gibt dieselbe eine Erklärung für den Wechsel in der Bewegungsrichtung, da man ja die Faltengebirgsschlingen ohne einen solchen gar nicht herstellen kann.

Insbesondere müssen die Richtungen von S gegen N, dann schräg von SO gegen NW sowie endlich die Streichrichtung selbst bevorzugte Orientierungen für die Massenwanderungen sein.

Dies würde mit den Angaben der alpinen Innentektonik gut übereinstimmen.

Weiter liefert uns diese Mechanik einen unbedingt ausreichenden Raum, um auch die größten heute nachgewiesenen Überschiebungen und Überfaltungen richtig in das Bauegefüge einordnen zu können.

Die gegenseitige Unabhängigkeit der drei Bauzonen wird bei dieser Auffassung der Baugeschichte leicht verständlich.

Dasselbe gilt von den scharfen Abgrenzungen und den Fehlzonen zwischen den 3 Bauzonen.

Mit der Beziehung der Faltenstränge zu dem von ihnen eingeschlossenen Mittelfeld sind aber die führenden mechanischen Nachbarschaften noch lange nicht erschöpft.

Es ist auch nicht möglich, die Faltenstränge samt ihrem Mittelfeld zu verbiegen, ohne die beiderseits anschließenden Außenfelder in Mitleidenschaft zu ziehen.

Es müssen daher auch die Verschiebungen des Außenfeldes mit denen der Faltenstränge und des Mittelfeldes gleichsinnig verlaufen. Hier stehen wir nun vor einer wichtigen Entscheidung.

Während für das tektonische Weltbild, wie es

auf Grundlage der Kontraktionslehre von E. SUËSS entworfen wurde, die Faltenstränge als weichere, gefaltete Zonen um die sog. starren, alten Massive herumgeschlungen sein sollen, würden nach meiner Deutung die Faltenstränge samt Innen- und Außenfelder bis zu einem gewissen Grade von denselben Bewegungen, und zwar von unten herauf, durchflutet sein.

Die Faltenstränge selbst aber liefern uns durch ihren weithin streichenden Zusammenhang gleichsam die Führungsbänder, um diese riesigen Bereiche von verschiedenartigen Bewegungen und Magma Vorgängen wenigstens einigermaßen in ihrem verborgenen Zusammenklang zu verstehen. Wenn der hier vorgezeichnete Zusammenhang zwischen den Faltengebirgen und ihrem benachbarten Umland in Wirklichkeit besteht, so müssen also gerade umgekehrt die alten Faltenstrukturen sich in der Nähe der kreuzenden jüngeren Faltenstränge denselben in gewissem Grade anschmiegen.

Sie müssen aber außerdem einen viel gestörteren Verlauf besitzen, nachdem sie schon mehrmals gezwungen wurden, ihre Baulinien benachbarten jüngeren Linien anzupassen.

Wenn Sie diesen Ausführungen gefolgt sind, so werden Sie die Überzeugung erhalten haben, daß die Auflösung der Mechanik der Alpen keine rein lokale Aufgabe der Alpenforschung mehr bedeutet, sondern zu einer kontinentalen Angelegenheit geworden ist.

Damit sind wir an jener Stelle angelangt, wo die Beziehungen zu der Hypothese von WEGENER über die Kontinentverschiebungen klarzulegen sind.

Seit 1911 hat WEGENER vor allem von geographischen Überlegungen ausgehend die gegenseitige Verschiebbarkeit und Verschiebung der Kontinente vertreten. Er hält dafür, daß die leichteren Kontinentschollen auf schwereren Massen, welche auch die Ozeanböden bilden, schwimmen

und von äußeren Kräften angetrieben sich gegenseitig verschieben.

Von meinem Standpunkt der Unterströmungshypothese ist der Übergang zu der Hypothese von WEGENER unschwer zu vollziehen.

Ich brauche nur die Schollentrift von Unterströmungen statt von äußeren Kräften abhängig zu denken.

An Stelle eines Schwimmens, das ich für mechanisch unmöglich halte, muß ich an den Schollenstirnen Einschmelzungen und an den Rückseiten Magmaaufpressungen einschalten. Ohne mich hier in die Frage der großen Kontinentverschiebungen weiter einzulassen, möchte ich nur bemerken, daß die von mir hier vorgelegte mechanische Deutung der Faltengebirgsschlingen unbedingt für eine große gegenseitige Beweglichkeit der Erdschollen spricht und somit von rein tektonischer Seite her eine wesentliche Unterstützung der Vorstellungen von WEGENER bedeutet. Mit dem Hinweise auf diese großen, heute noch so gut wie unbearbeiteten mechanisch-tektonischen Arbeitsfelder möchte ich meine Vorlesung beschließen.

Ich habe den Wunsch, daß diejenigen, welche sich weiterhin mit der Erforschung des Alpenbaues beschäftigen, ähnliche oder tiefere Freuden erleben, wie sie mir diese Forschung bereitet hat, Freuden, die in ihrer Unberührtheit kostbar und in ihrer Entzückung unvergeßlich sind, und welche die einzige wahrhafte Belohnung für unabhängiges Denken auf dieser Erde bedeuten.