

Smn 151-2

Ampferer O.

Über die Bedeutung von Gleitvorgängen für den Bau der Alpen

Von

Otto Ampferer

ordentl. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 7 Textfiguren)

Aus den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien
Mathem.-naturw. Klasse, Abteilung I, 151. Bd., 1. bis 6. Heft, 1942

Wien 1942

Hölder-Pichler-Tempsky, Wien und Leipzig
Kommissionsverleger der Akademie der Wissenschaften in Wien

Staatsdruckerei Wien.

Über die Bedeutung von Gleitvorgängen für den Bau der Alpen

Von

Otto Ampferer

ordentl. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 7 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 22. Jänner 1942)

In der Gegenwart ist die Bedeutung der Gleitfaltung durch E. Haarmann und R. W. v. Bemmelen wieder stärker betont worden, nachdem E. Reyer vor mehr als 50 Jahren und der Verfasser seit 1906 die Meinung vertreten hatten, daß die Gleitungen beim Bau der Faltengebirge eine wichtige Rolle spielten.

In der Zwischenzeit ist wenigstens für die Alpen die Gleittheorie durch die Ausquetschungs- und Überfaltungstheorie ganz in den Hintergrund gedrängt worden.

Die in ungeahnter Ausdehnung und Mannigfaltigkeit immer weiter getriebene Auflösung des Alpenkörpers in zahlreiche relativ dünne Bewegungseinheiten scheint, der Mehrzahl der Alpengeologen mit der Annahme von Gleitfaltungen unvereinbar zu sein.

Dabei hat sich allgemach ein wesentlicher Umschwung in den tektonischen Grundanschauungen insoferne vollzogen, als derzeit diese hochgesteigerten Überfaltungen nicht mehr unmittelbar mit der Schrumpfung der Erde, sondern mit Verschiebungen von Kontinenten gegeneinander in Verbindung gebracht werden.

Diese Lehre ist in der Schweiz von E. Argand und R. Staub bis in die Einzelheiten ausgebildet und klärgelegt worden.

Sie schließt sich im wesentlichen den Vorstellungen von A. Wegener an und will in dem Vormarsch des Gondwanalandes gegen Eurasien die Ursache für die Bildung der mediterranen Faltengebirge erblicken. Es ist nicht zu bezweifeln, daß bei der Vorrückung einer so riesenhaften Masse mit Leichtigkeit ein Faltenwulst vom Range von Pyrenäen — Alpen — Karpathen — Kaukasus — Himalaya ... vor der Stirne aufgeschürft und hergetrieben werden könnte.

Ein solcher Faltenwulst müßte aber einen ganz anderen inneren Bau zeigen, als er in diesen Gebirgen tatsächlich vorhanden ist.

Vor allem wäre bei einem derartigen Riesenschub eine Zerlegung der vor der Stirne hergetriebenen Massen in zahlreiche so dünne Blätter wohl ganz unbegreiflich. Diese Zerlegung in so viele und so rasch sich ablösende Gesteinsblätter ist nun gerade eine Erscheinung, welche bei Gleitbewegungen ungezwungen und von selbst sich einzustellen pflegt.

Wenn man über die Bedeutung der Gleitbewegungen für den Bau der Alpen ins klare kommen will, so darf man von Anfang an nicht vergessen, daß man mit den Gleitfaltungen niemals etwa das volle Ausmaß der Gebirgsbildung, sondern nur jeweils Teile derselben erklären kann.

Es handelt sich also hier nicht um eine Theorie der Gebirgsbildung, sondern nur um Teilerklärungen, welche aber in sehr vielen Fällen ihre Anwendungsfähigkeit besitzen. Die Gleitung von größeren Schichtmassen ist ein Vorgang, der zu seiner Auslösung und Durchführung eine Reihe von bestimmten Voraussetzungen nötig hat.

Da ist zunächst als das Wichtigste das Vorhandensein eines ausreichenden Gefälles. Dieses Gefälle muß weiter eine größere Ausdehnung besitzen, um überhaupt wirksam zu werden.

Neben dem Gefälle muß eine geeignete Gleitbahn vorhanden sein oder wenigstens eine Gesteinszone, die sich dazu umformen läßt.

Unterhalb der Gleitbahn müssen weiter genügend feste Schichten anstehen, welche imstande sind, die Gleitbahn wenigstens bis zum Vollzug der Gleitung in ihrer Stellung festzuhalten.

Über der Gleitbahn müssen sich Schichten befinden, welche nicht zu starr und auch genügend gut geschichtet sind, um sich unter dem Zug und Schwung der Schwere zu Falten und Schuppen umformen zu lassen.

Man sieht schon aus dieser kurzen Übersicht, daß das Zustandekommen von Gleitfaltungen in großem Umfang keine alltägliche Angelegenheit ist.

Dabei ist der Vorgang der Gleitung eine Bewegungserscheinung, welche uns die Natur fortlaufend vor Augen führt, und zwar von den kleinsten bis zu sehr großen Ausmaßen. Es gibt kaum einen steileren Hang, wo man nicht die Wirkung von Gleitungen beobachten könnte. Ganz wunderbare Gleitbilder liefern dann die Gletscher und das Inlandeis, welche für das Studium der Tektonik überaus lehrreich sind.

Die Gleitung im Schwerefeld der Erde und natürlich auch der anderen Weltkörper ist jedenfalls ein Vorgang von überzeugender Wirksamkeit und tausendfacher Vielfältigkeit, dem wir auf Schritt und Tritt in unserem Leben begegnen.

Trotzdem ist die Verwertung der Gleiterfahrten im Rahmen einer Erklärung des Gebirgsbaues durchaus nicht einfach oder naheliegend. Die Begründung dieser Schwierigkeit ist zunächst darin zu suchen, daß nur selten in den Gebirgen der Erde neben einer abgeglittenen Faltenzone, also neben oder vielmehr hinter dem Gleitkörper eine zugehörige Gleitbahn zu finden ist.

Wären die entsprechenden Gleitbahnen und Abrißstellen in den Gebirgen erhalten geblieben, so würde wohl niemand an der Zusammengehörigkeit von Gleitkörper und Gleitbahn gezweifelt haben.

Da aber beide Teile, Gleitbahn und Gleitkörper, in gebirgsbildender Größe nur selten nebeneinander und zusammengehörig zu sehen sind, so fehlt auch häufig der Beweis der unmittelbaren Anschauung.

Hier teilen sich nun die Wege der einzelnen Forscher. Die Mehrheit derselben nimmt das Fehlen der zugehörigen Gleitbahnen einfach als Beweis, daß eben keine Gleitung vorliege und sucht die vorhandenen Faltungszonen anderweitig zu erklären.

Andere Geologen wieder nehmen den Standpunkt ein, daß die Gleitbahnen eben irgendwie zerstört sind und man gerade umgekehrt aus dem Vorhandensein der Gleitkörper auf die einst zugehörigen Gleitbahnen schließen könne. Es liegt auf der Hand, daß der Standpunkt der Ablehnung hier der bequemste ist, wogegen jener der Anerkennung zu mühsamer Weiterarbeit verpflichtet.

Ich will hier den zweiten Weg versuchen.

Was nun zunächst die Frage der Erhaltbarkeit der Gleitbahnen betrifft, so kann man hier zwei Strecken der Fahrbahnen unterscheiden. Auf dem untersten Teil dieser Bahnfläche ruht ja der Gleitkörper selbst, nur der obere Teil der Fahrbahn kann frei zutage liegen. Es ist selbstverständlich, daß jener Teil der Fahrbahn an der Sohle des Gleitkörpers erhalten bleibt, solange dies auch vom Gleitkörper selbst gilt.

Freilich ist hier zu bedenken, daß unter Umständen der Gleitkörper bei hohem Schwung auch über die eigentliche Gleitfläche hinaus auf ein rauhes, ungeglättetes Feld geworfen worden sein kann. In solchen Fällen kann unter dem Gleitkörper auch die ausgebildete Gleitfläche fehlen.

Ganz anders liegen die Bedingungen der Erhaltung bei dem oberen, freistehenden Teil der Fahrbahn.

Dieser freistehende und zugleich hochgelegene Teil der Gleitfläche ist vor allem der Zerstörung durch die Gewalten der Erosion ungemein ausgesetzt. Das Wasser gewinnt auf solchen Flächen hohe Geschwindigkeit und Zerstörungskraft. Auch die Windwirkung wird gesteigert.

So erscheint die relativ rasche Zerstörung der hohen Teile der Gleitflächen sehr wahrscheinlich.

Daneben kommen aber auch noch andere Möglichkeiten für das rasche Verschwinden solcher Flächen in Betracht. Wahrscheinlich ist die Loslösung einer Gleitmasse durchaus nicht immer mit einer gleichmäßigen langsamen Aufwölbung des Untergrundes verbunden. Im Falle der regelmäßigen Aufwölbung würde die Loslösung der Gleitmasse bei Überschreitung eines bestimmten Fallwinkels eintreten, der so groß ist, daß die entgegenstehende Reibung überwunden wird.

Damit ist die Abhängigkeit dieses Winkels von der Beschaffenheit des Schichtmaterials, von der Durchfeuchtung, von der ganzen Art der Hebung gegeben. Schiefriees, toniges Material wird viel leichter ins Gleiten kommen, ebenso stark durchfeuchtetes. Stoßweise Hebung ist viel wirksamer als gleichmäßige, langsame. Es gibt sicherlich Fälle, wo die Loslösung z. B. schon bei geringeren Neigungen durch die Mithilfe von starken Erschütterungen, von Durchfeuchtung oder auch von Erwärmungen herbeigeführt wird.

Schreitet die Hebung, welche die erste Ablösung ins Leben rief, auch danach noch fort, so können weitere Gleitungen erfolgen, welche vielleicht die erste Gleitfläche zerreißen oder verschütten.

Wir wollen also festhalten, daß die lange Erhaltung von hochliegenden Gleitflächen nicht nur der Zerstörung durch die unaufhaltsame Abtragung, sondern auch durch tektonische Bewegungen ausgesetzt ist. Auch diese letzteren können so weit gehen, daß die ursprünglichen Gleitbahnen ihre Kenntlichkeit verlieren.

Wesentlich günstigere Bedingungen für lange Erhaltung besitzen jene Teile der Gleitbahn, welche sich unterhalb der Gleitkörper befinden und hier von diesen Massen vor der raschen Zerstörung geschützt werden. Diese Flächenstücke können durch teilweise Abtragung des Gleitkörpers oder auch durch künstliche Aufschlüsse in Stollen, Schächten, Bohrlöchern zu unserer Beobachtung und Kenntnis gelangen.

Die Beobachtung, daß gefaltete oder geschuppte Schichtmassen auf einer geglätteten Bewegungsfläche lagern, ist an zahlreichen Stellen einwandfrei festgelegt worden.

Dieser Befund läßt aber zwei verschiedene Auslegungen zu. Es kann sich dabei um eine richtige Gleitbahn handeln, auf welcher ein Gleitkörper im Zug der eigenen Schwere seine Wanderung ausführte und einstellte. Es kann sich aber auch um eine Schubfläche handeln, der entlang eine Schubmasse vorgeschoben wurde.

Die Unterscheidung zwischen einer zur Ruhe gekommenen Gleitmasse oder einer Schubmasse ist in vielen Fällen nicht leicht, in manchen sogar unmöglich.

Das Wichtigste, den ganzen zeitlichen Verlauf des Ereignisses mit seinem Beginn, seiner Beschleunigung und seinem Ende können wir ja nicht beobachten. Sonst wäre die Unterscheidung ja unmittelbar gegeben. Wir können nur aus den Formen des heute noch erhaltenen Bewegungsbildes unsere Schlüsse ziehen.

Die Gewalt, mit der eine Masse auf ihrer Bahn vorwärts getrieben wird, ist bei einer Gleitmasse fördernd bestimmt durch die Höhe des Gefälles, das Gewicht des Gleitkörpers, hemmend durch die Reibung der Bahnfläche und Gegensteigungen.

Eine Schubmasse hat diese Beschränkungen nicht im gleichen Maße und es ist auch möglich, daß bei ihrer Bewegung weit größere Kräfte zur Verfügung stehen.

Eine Gleitung kann sich je nach den Umständen langsam oder rasch vollziehen. Eine Überschiebung dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit als ein langsam wachsender Vorgang anzunehmen sein.

Eine Gleitung kann nur eine Gegensteigung überwinden, welche erheblich geringer als ihr Anlaufgefälle ist.

Einer Überschiebung bereitet die Überwindung einer großen oder steilen Gegensteigung kein solches Hindernis, je nach dem Massenaufwand, der hinter ihr herdrängt.

Die Beschaffenheit der Gleitbahn verändert sich während ihrer Benützung unter Umständen ganz wesentlich. Vorsprünge und Rauigkeiten der Bahn werden abgehobelt, Furchen und Löcher ausgefüllt. In diesen Vorgängen kommt die Gesetzmäßigkeit zum Ausdruck, daß jede Massenbewegung soweit als möglich für sich geeignete Laufbahnen herzustellen strebt.

Prachtvoll ist dieses Gesetz bei der Eisbewegung ausgesprochen, für deren Geläufigkeit nicht nur die Felshänge glatt geschliffen, alle eckigen Stufen abgerundet, sondern sogar die Querschnitte der Täler ausgeweitet werden. Dieselbe Wirkung ist

ja schließlich auch an jeder vielbenützten Stiege und an jeder stark gebrauchten Großstadtsprache zu erkennen.

Die Zuschleifung der Gleit- oder Schubbahnen kann Spiegelglätte erreichen, wobei jedes der Bahn benachbarte schmierfähige Gestein zur Politur herangezogen wird. Auf diese Weise kann der Betrag der Reibung sinnvoll gesenkt werden.

› Aber nicht nur die Glättung der Bahnflächen kann ein hohes Maß von Vollkommenheit erreichen, sondern auch die zweckmäßige Ausbildung der Bahnkrümmung. Die Anlage dieser gekrümmten Gleitflächen ist auch bautechnisch hochinteressant, wenn man bedenkt, daß dieselben nicht durch systematisches Ausmessen gefunden wurden.

Das Herausfinden einer so geeigneten Fahrbahn ist ganz etwas anderes als das Niederbrechen eines Bergsturzes mit vielen Tausenden von zufällig zerrissenen Trümmern. Es ist unbedingt nötig, daß der Anlage einer so zweckmäßigen, parabelähnlichen Fahrbahn ein Abtasten und Prüfen von vielen Möglichkeiten des inneren Zerreißen der Felsmassen vorausseilen muß. Wie aber die schwächsten Stellen gefunden und zu einer planmäßigen Gesamtfläche vereinigt werden, ist uns nicht genauer bekannt. Möglicherweise findet eine solche Prüfung durch stoßweise Erschütterungen, also durch Zurechtrütteln statt, was sich äußerlich nur durch ein Erbeben der Felsmassen verraten dürfte.

Aus den Beschreibungen mancher Bergstürze ist ja bekannt, daß denselben unterirdische Geräusche oft längere Zeit vorhergehen, welche wohl die inneren Zerreißen begleiten. Die eigentliche Glättung der Bahn findet wohl erst bei der Niederrfahrt statt.

Es ist also wahrscheinlich, daß zuerst eine rauhe Reißfläche, vielleicht sogar ein Geflecht von solchen ausgebildet wird, das erst bei der Abfahrt glatt geschliffen wird.

Wir gehen nun zu der Frage über, für welche Anteile der Alpen Gleitfaltung überhaupt in Betracht zu ziehen ist. Der Bogen der Alpen ist einerseits gegen außen gekrümmt, andererseits enthält er seine größten Höhen in einer mittleren Zone.

Aus dieser Anordnung ergibt sich gleich der Schluß, daß hier, falls die Gleitung überhaupt größere Teile dieses Gebirges ergriffen hat, diese vor allem entlang seiner Außenseite zu suchen sind.

In den Ostalpen werden diese Gebiete von dem langen Bande der nördlichen Kalkalpen eingenommen, welche hier vom Durchbruch des Rheins bis nach Wien reichen. In der Schweiz treten die helvetischen Decken und die Klippen an ihre Stelle.

Heute ist in diesen Gebirgen die Auflösung des Deckenbaues so weit vorgeschritten, daß es möglich ist, allgemeine typische Bauschemen aufzustellen.

Am leichtesten gelingt dies für die nördlichen Kalkalpen, deren Bau besonders im Westabschnitt ziemlich durchsichtig gemacht wurde.

Fig. 1 legt eine solche Grundformel für die nördlichen Kalkalpen vor, in welcher nur die Hauptlagerung der einzelnen Decken berücksichtigt erscheint. Schon aus dieser äußersten Vereinfachung lassen sich einige wichtige tektonische Folgerungen ableiten.



Fig. 1. Die Gleitmassen füllten den Hohlraum der Mulde vollständig aus.

Die Decken sind nicht symmetrisch angeordnet. Vielmehr ist an der Nordseite ein Paket von Schuppen eingeschaltet, welche auf der Südseite fehlen.

Dadurch kommt in diesem Bauschema ein entschiedenes Richtungsmoment zum Ausdruck. Die Bauformel der nördlichen Kalkalpen enthält also eine mächtige Einseitigkeit, welche wohl nur als Folge einer einseitigen Bewegung zu verstehen ist. Durch den Schwung dieser Bewegung ist diese Anordnung der Decken am leichtesten zu erklären. Es liegt eine riesenhafte Bauverzerrung in der Richtung von S nach N hier vor.

Diese Bauverzerrung ist zugleich der beste Beweis dafür, daß die Decken der nördlichen Kalkalpen von S her getragen und hier aufeinandergeschaltet wurden.

Es fragt sich nun, in welchem Verhältnis die Mulde des Untergrundes zu dem eigenartigen Bauschema der Decken steht.

Folgende Möglichkeiten können hier enthalten sein. Es ist möglich, daß diese weitgespannte Mulde schon vorhanden war, als die Einwanderung der Decken begann. Es wäre denkbar, daß der Untergrund samt den darauf befindlichen Decken zusammen später muldenförmig verbogen wurde.

Es wäre auch möglich, daß die Decken durch ihr Gewicht den ursprünglich vielleicht ebenen Untergrund eingedrückt haben.

Von diesen drei Möglichkeiten stellt nur die erste und die dritte eine innere Beziehung zwischen der Anordnung der Decken und der Form der Mulde des Untergrundes her.

Die erste Möglichkeit aber ist die einzige, welche hier eine weitere Ausführung der Bewegungsvorgänge gestattet. Es ist nicht wahrscheinlich, daß das Zusammenfallen der Muldenbreite mit der Breite der eingelagerten Decken rein zufällig ist. Vielmehr ist verständlicher, daß die einfahrenden Decken bei ihrer Fülle den Muldenraum ausgefüllt haben. Soweit wir heute sehen, ist



Fig. 2. Die Gleitmassen vermochten diesen Hohlraum nicht zu füllen.

es hier nicht vorgekommen, wie Fig. 2 angibt, daß die Decken die Muldenform nicht zu füllen vermochten oder, wie Fig. 3 andeutet, sie sogar im Gegenteil überschritten haben.

Aus dem Zusammenklang der Muldenform und der Muldenfüllung kann man schließen, daß die Gleitmassen schon ursprünglich in die Hohlform hereingeglitten und hier auch zum Stillstand gekommen sind.

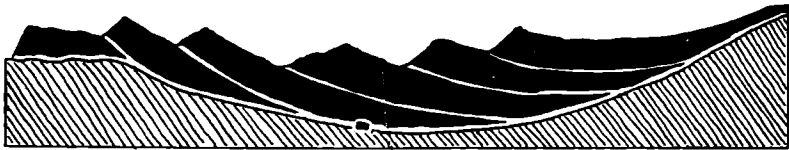


Fig. 3. Die Muldenform war für die eindringenden Gleitmassen zu klein. Nur in Fig. 1 besteht zwischen der Form und Größe von Mulde und tektonischer Füllung ein enges Zusammenspiel.

Die Gegensteigung der Mulde ist durch die Anhäufung von Schuppen wunderbar abgebildet. Diese Gegensteigung ist auch die Ursache für die durchgreifende Einseitigkeit und die Vermehrung der Decken an dieser mächtigen Abbremsung der Bewegung.

Der zuerst von Arnold Heim verwendete Ausdruck einer „Brandung der Decken“ am Südrand des Molassegebirges ist bewegungsverständig gewählt und sehr anwendungsfähig.

Wir haben also die Einsicht erreicht, daß die Mulde des Untergrundes mit der Form ihrer tektonischen Füllung insofern völlig zusammenpaßt, als die Anordnung der Gleitmassen so ist, wie sie beim Eingleiten und Abbremsen in einer vorgelagerten Hohlform entstehen würde.

Im Falle der nördlichen Kalkalpen hätte diese Mulde gleichsam die Gleitmassen gesammelt und in ihrer Bewegung aufgehalten. Soweit wäre die Sachlage unschwierig zu verstehen. Wir können aber damit nicht zufrieden sein, weil wir ja nur das untere Ende der Erscheinung in den Händen haben. Wir möchten aber auch die mittleren und oberen Teile, d. h. die Gleitstrecke und die Abrißstelle in Erforschung ziehen.

Für die Glarner Alpen habe ich bereits im Jahre 1934 den Versuch gemacht, die tektonischen Erscheinungen vom Standpunkt einer Gleitformung aus zu betrachten. Die betreffende Arbeit ist in unseren Sitzungsberichten — Sitzungsber. d. math.-naturw. Kl., Bd. 143, 1934, auf S. 109—121 abgedruckt zu finden.

Die Glarner Alpen sind ausgezeichnet durch eine weithin erschlossene und ganz wunderbar geschwungene Gleitfläche von großer Ausdehnung. Es ist unwahrscheinlich, daß diese Fläche erst nach ihrer Benutzung diesen selten schönen Schwung erhalten hat. Jede weitere Verbiegung hätten diesen fein ausgeschliffenen Schwung nur stören können.

Wir haben also ein Recht, diese Fläche für eine treue Überlieferung der alten Gleitbahn zu halten. Nur die Deutung als Gleitbahn vermag das Geheimnis dieser Flächenbildung aufzuhellen. Überfaltung oder Überschiebung ergeben keine inneren Beziehungen zwischen der Form dieser Fläche und der Form der Auflagerungen. Sie gehören zusammen wie Hobel und Gehobertes.

An der Südseite erscheint unsere Fläche schroff abgehackt. Von S her drängen riesige Massen kleingefalteter Bündnerschiefer heran, unter denen noch Breccien und Schollen von helvetischen Schichten auftauchen.

Hier haben wir also die Versenkung und zugleich auch die darüber vordrängende Überschiebung klar vor uns. Wenn wir am Südende der Großmulde der nördlichen Kalkalpen stehen, so endet hier mit einem Schlage die leichte tektonische Übersichtlichkeit. Weder der Muldenbau noch auch der Lauf der Decken findet eine sichtbare Fortsetzung. Vielmehr heben sich weit ältere Gesteine der Grauwackenzone und des Altkristallins mächtig empor.

Um diese große Schwierigkeit im Sinne der Gleithypothese zu überwinden, habe ich schon vor längerer Zeit zu dem Ausweg gegriffen, daß die ehemalige Fortsetzung unserer Decken in einer

Verschluckungszone tief versenkt wurde und wahrscheinlich ihre Gesteine den Wohnverhältnissen der neuen Tiefenlage angeglichen wurden.

Bevor wir aber näher auf diese Möglichkeit eingehen, ist es nötig, auch die Frage zu prüfen, ob das Verschwinden der Decken nicht umgekehrt mit der starken Hebung des kristallinen Gebirges zusammenhängen kann. Für diese Frage können uns jene Reste von Kalkalpen, welche noch auf dem kristallinen Gebirge erhalten sind, nähere Auskünfte erteilen.

In Tirol kämen für diese Prüfung vor allem das ziemlich große Sillbuchtgebirge, die Tarntaler Gruppe und der Gaisberg südlich vom Kaisergebirge in Betracht. Keines von diesen Trias-Jura-Gebieten zeigt trotz der Nähe des Südrandes der nördlichen Kalkalpen eine volle Ähnlichkeit, weder in der Ausbildung der Schichtfolge, noch in jener der Tektonik.

Der Nordrand des Sillbuchtgebirges steht nur um zirka 6 *km* vom Südrande des Karwendels bei Innsbruck ab. Trotzdem ist die Schichtfolge verarmt und von der Zweiteilung in Lechtal- und Inntaldecke keine Spur mehr zu finden. Noch fremdartiger ist Schichtfolge und Bau der Tarntaler Berge. Hier tritt eine Ähnlichkeit mit den Radstädter Tauern weit stärker als mit dem nahen Karwendelgebirge hervor. Der isolierte Triasklotz des Gaisberges ist wohl zu klein, um für oder gegen eine Verknüpfbarkeit mit dem Kaisergebirge aussagen zu können. Der Versuch, eine Fortsetzung der Decken der nördlichen Kalkalpen im nahen Süden zu finden, schlägt also fehl. Nicht umsonst haben die Anhänger des Nappismus nach viel weiter südlich gelegenen Anknüpfungstellen gesucht, wo infolge der großen Entfernung allerdings auch kaum mehr mit strenger Ähnlichkeit zu rechnen ist.

Wenn wir die Hände von diesen sehr unsicheren Verbindungen weglassen wollen, so bleibt nichts übrig, als sich der Wirksamkeit von Verschluckungszone zu bedienen.

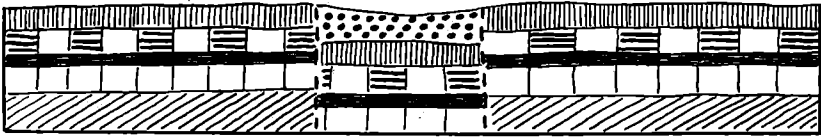
Verschluckungszone (Fig. 4) sind an der Erdoberfläche zahlreich vorhanden, wenn man schon Senkungen um Beträge von einigen Kilometern als Anfangsstadien in Betracht zieht. Wird der gesenkte Raum durch Schutt oder Wasser verdeckt, so kann man schon von Verschluckungszone reden. Befindet sich eine solche Form in einem ungestörten Tafellande, so kann sie in ihren Umrissen lange Zeit bestandfähig bleiben.

Liegt sie aber innerhalb einer stark bewegten Erdzone, so vermag sie ihre Form kaum starr zu behalten, sondern wird auch in das Bewegungsspiel der Umgebung hineingezogen. Hier ist

ihr Schicksal besiegelt, sofern die Senkung nicht wieder in eine Hebung übergeht.

Bleibt die senkende Bewegung aber bestehen, so müssen die tiefliegenden Massen von der Seite her überwältigt werden. Das

a



b

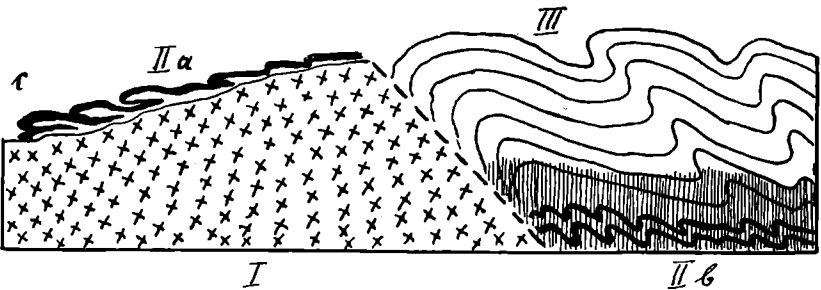
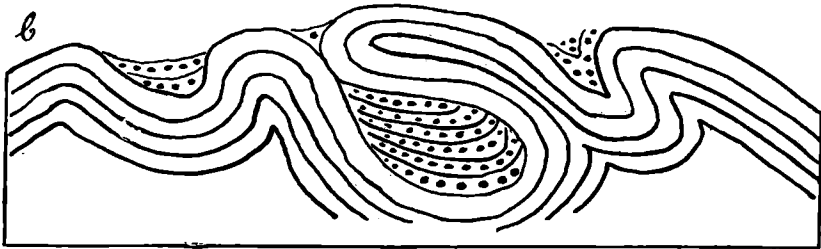


Fig. 4. Formen von Verschluckungszonen.

- a) Einfacher Einbruch mit nachfolgender Schuttverhüllung.
- b) Eine tiefe Tertiärmulde wurde vollständig zugefaltet.
- c) I altes kristallines Massiv,
 IIa = Gleitdecken,
 IIb = versenktes Stammland der Gleitdecken,
 III = Überschiebungsmasse, welche IIb eindeckt.

Mit senkrechten Strichen soll das Aufsteigen einer Wärmewelle angedeutet werden.

kann ebensogut durch Überfaltung oder Überschiebung ausgeführt werden.

Für derartige seitliche Überwältigungen von tiefgesenkten Mulden bieten uns die inneralpinen Tertiärmulden schöne Beispiele.

Für unsere Fragestellung reichen aber auch diese Beispiele bei weitem nicht aus.

Um das Verschwinden des ganzen Hinterlandes der Gleitdecken der nördlichen Kalkalpen erklären zu können, sind gewaltige Senkungen erforderlich, die Hunderte von Kilometern lang und vielleicht 50 km breit sein müssen. Das sind Raumansprüche, welche in ihrer Größe schon wesentliche Teile des Alpengebäudes mit Beschlag belegen.

In Fig. 5 ist innerhalb eines schematischen Querschnittes der Alpen die Raumforderung einer solchen Verschluckungszone in schätzungsweiser Größe angedeutet.

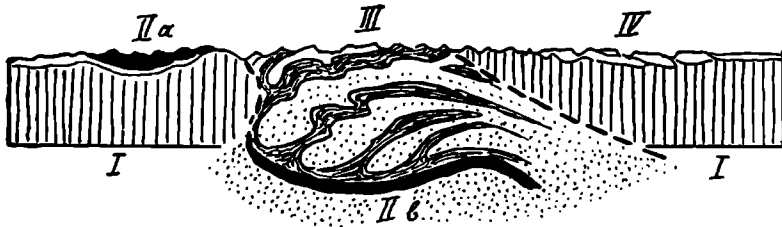


Fig. 5. Einordnung einer Verschluckungszone in den Alpenbau.

- I = altes, ausgefaltetes kristallines Grundgebirge.
- II α = Gleitdecken.
- II β = Versenkte Heimat dieser Gleitdecken.
- III = Zufaltung der Verschluckungszone mit Tauchdecken.
- IV = Gleitdecken der Südalpen.

Mit Punkten ist schematisch das Aufsteigen einer Wärmewelle abgebildet.

Man kann davor zurückschrecken, man kann aber auch einen solchen Einblick in die Kellereien der Alpen zu tieferem Hinabsteigen für geeignet halten.

In den Ostalpen ist die Grundkonstruktion wahrscheinlich durch das Eingreifen von jüngeren gewaltigen Ost-West-Verschiebungen stärker verzerrt als in den Westalpen. Wir benützen daher zum weiteren geistigen Vortrieb ein Profil (Fig. 6) aus den Westalpen, das wir R. Staub zu verdanken haben.

Wir befinden uns im Bannkreis des mächtigen Montblanc. Hier ist an dessen NW-Seite die Abgleitung der Chablaisdecken in wunderbarer Schwunggewalt verkörpert. Anschließend zeigt sich aber auch die von SO her erfolgte Überschreitung der alten kristallinen Masse in ihren überwältigten und niedergedrückten Einfaltungen. Nun gelangen wir an die Gegenseite und hier fehlt jede entsprechende Fortsetzung der an der NW-Seite so schön

ausgebildeten Gleitmassen. Statt dessen gelangen wir in das Reich der Überfaltungdecken aus magerster Trias, üppigen Bündnerschiefern und prächtig eingerollten Gneiskernen.

Eine völlig andere Bauwelt tut sich auf, welche niemals die Fortsetzung der äußeren Gleitmassen gewesen sein kann. Wo ist also hier die Fortsetzung dieser Gleitdecken zu suchen? Im Jahre 1939 habe ich darauf Antwort gegeben und ihre Heimatstelle unterhalb dieser Tauchdecken vermutet.

Wenn die Profilkonstruktionen von R. Staub im wesentlichen stimmen, so wäre diese Fortsetzung der äußeren Gleitdecken und ihr Stammland erst in Tiefen von mehr als 10 km unter dem

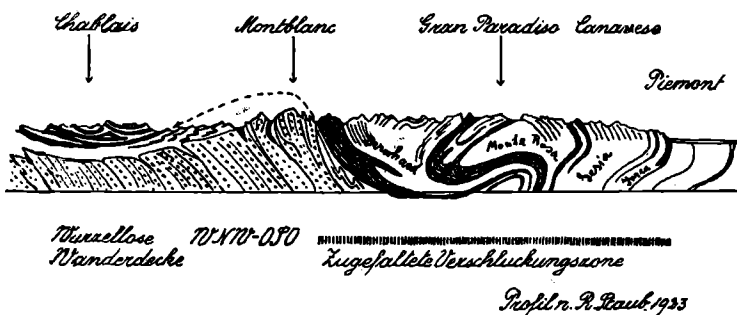


Fig. 6. Dieses Profil bringt den Gegensatz zwischen den äußeren Gleitdecken und den inneren Tauchdecken klar zum Ausdruck. Die Tauchdecken stellen Schubdecken mit teilweiser Gleitbewegung vor. Das Hereinneigen der Faltenköpfe in den Hohlraum der Verschlussungszone ist ausgezeichnet zu erkennen.

Meeresspiegel zu erwarten. Vier getrennte Einsichten stützen in ihrem Zusammenklang diesen scheinbar sehr gewagten Schluß. Erstens erweisen sich hin und hin die helvetischen Decken sowie jene von Prealpes und Chablais als vollausgebildete Gleitdecken.

Zweitens zeigt der Bau des Aarmassivs, des Montblanc ... aufs deutlichste eine Überwältigung von SO gegen NW, für deren Zustandekommen nur eine Überföhrung durch die äußeren Decken in Betracht kommt.

Drittens fehlen auf der Gegenseite der autochthonen Massive die entsprechenden Fortsetzungen dieser Decken. Dafür erscheinen mächtige Tauchdecken von wesentlich anderer Prägung.

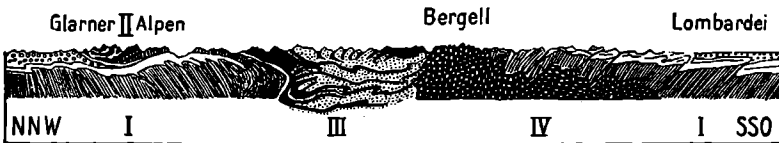
Viertens lassen sich die Tauchdecken am einfachsten als Gebilde einer Zufaltung einer breiten und tiefen Verschlussungszone verstehen.

Die Tauchdecken selbst tragen ebenfalls neben Schub auch Züge einer großartigen Gleitfaltung zur Schau.

Mit dem Untersinken des Aarmassivs an der Rheinlinie ändert sich der Bauplan der Alpen grundsätzlich.

Wir finden weiter östlich keine autochthonen alten Massive mehr. Die riesenhaften Massen von Silvretta und Öztaler Alpen sind nicht mehr wurzelhaft, sondern abgeschert. Sie zeigen als jüngstes Ereignis eine gewaltige Verschiebung von O gegen W. An dieser Großverschiebung nehmen im N die ganzen nördlichen Kalkalpen, im S die Engadiner Dolomiten, die Berninagruppe und die quergefalteten Suretta-Tambo-Adula-Decken Anteil.

Nach dem Unterengadiner Fenster zu schließen, scheinen hier die Ostalpen wenigstens 60 km gegen die Westalpen vorgetrieben. Zwischen Ost- und Westalpen liegt die Riesenschlamm-



Alpenquerschnitt nach einer Vorlage von Rudolf Staub (1926).

Fig. 7. In diesem Alpenquerschnitt ist der Neubau der Alpen mitten unter einem steilgefalteten kristallinen Grundgebirge gut zu verfolgen. Die Panzerdecke des alten Kristallins wurde durch eine Verschluckungszone zerteilt und außerdem noch durch eine junge Aufschmelzung teilweise verdaut.

Wahrscheinlich besitzt die Einschmelzung unter dem alten Grundgebirge eine große Ausdehnung.

bucht der Bündnerschiefer eingeschaltet, ebenso merkwürdig durch die lange Dauer als auch die Einförmigkeit der Sedimentation und das Fehlen der groben Schuttarten.

Um diese Seltsamkeit in ihrem vollen Umfang zu begreifen, braucht man nur an die Buntheit und Gröblichkeit der Sedimente der Gosauschichten, des Flysches und der Molasse zu denken.

Wie hat sich eine derart große Schlamm- und Schuttbucht mit äußerster Fossilarmut zwischen Ost- und Westalpen so lange halten können?

Mit ihren Armen greift diese Bucht gar weit nach O und SW und erscheint hier mit allen Tauchdecken in der Kernzone der Alpen innigst verflochten.

Die Entstehung der Bündnerschiefer ist sowohl mit der tiefen Trennung der Ost- und Westalpen als auch mit der gemeinsamen Verfaltung der Kernzone wesentlich verknüpft.

Hier sind noch manche Dunkelheiten durch weitere Forschungen aufzuhellen.

Wir kommen so zu einer neuen Auflösung des Alpenbaues und müssen uns gleich von Anfang an hüten, nicht wieder in jene Übertreibungen und Verblendungen zu fallen, welche den Nappismus irgeleitet haben.

Auch Hans Schardt ist bei seiner Entdeckung der Wurzellosigkeit von Prealpes und Chablais von der Vorstellung von riesigen Gleitmassen ausgegangen, nur stellte er sich dieselben als herausgequetschte hohe Falten vor, die sich wie Büschel aufrichteten, umlegten und ins Vorland hinabglitten.

Die Annahme der Herausquetschung von großen Falten ist mechanisch nicht begreifbar und wurde deshalb durch Gleitfaltung und Verschluckung ersetzt. Die einzelnen Decken haben nur so unbedeutende Stirneinrollungen, daß sie die Bezeichnung „liegende Falten“ nicht verdienen. Wohl aber ist diese Bezeichnung für die Tauchdecken der Kernzone berechtigt.

Die Vorstellung einer Versenkung der Heimatgebiete der abgeglittenen Decken schafft die Schwierigkeit der Ausquetschung der Decken aus schmalen Wurzelzonen beiseite.

Sichtbar sind weder die Ausquetschungswurzeln noch auch die Verschluckungszonen.

Die Mechanik der Verschluckungszonen ist aber leichter verständlich als lange, breite und tiefe Einsenkungen, welche von einer oder von zwei Seiten zugeschoben oder zugefaltet wurden.

Betrachtet man die Zone der flachen Tauchdecken in der Kernzone der Alpen als die Zufüllung von Verschluckungszonen, so erhält man eine Breite, welche beiläufig der Raumforderung der äußeren Gleitdecken entsprechen kann. Wahrscheinlich war aber die Verschluckungszone ursprünglich breiter und wurde durch den seitlichen Anschub verschmälert.

Es ist schon gesagt worden, daß nach den Alpenquerschnitten von R. Staub eine Beheimatung der Gleitdecken erst unterhalb von — 10 km zu erwarten wäre. Nimmt man dazu die Aufragung der Alpen mit 4 bis 5 km, so würde sich diese Heimat der Gleitdecken wohl schon nahe oder bereits in der Zone der Gesteinsweichungen befinden. Es ist wahrscheinlich auch kein Zufall, daß in der unmittelbaren Nachbarschaft jener Gürtel von mächtigen jungen Schmelzmassen auftaucht, der ebenfalls der Krümmung der Westalpen folgt und dann an der Alpenknickung um zirka 80 km gegen N verschoben erscheint.

Die Übertragung dieser Anschauungen auf die Ostalpen bereitet manche Schwierigkeiten, weil die Ostalpen durchaus nicht etwa eine ungestörte Verlängerung der Westalpen bedeuten.

Im allgemeinen sind wir mit Hilfe von Gleithypothese und Verschluckungszone weiter vorgedrungen, als es mit Hilfe von Ausquetschungswurzeln und Liegfalten gelingt.

Damit hat die Gleithypothese ihre Verwendbarkeit bewiesen, wenn auch besonders in den Ostalpen noch Rätsel genug zu lösen bleiben.

Schwieriger als die Erklärung der äußeren Gleitdecken ist jene der inneren Tauchdecken in der Kernzone.

Wir befinden uns hier im Herzen der Alpen, wie das Profil (Fig. 7), ebenfalls aus dem geistigen Eigentum von R. Staub, besonders klar zu erkennen gibt. Was dieses Profil auszeichnet, ist die unmittelbare Nachbarschaft der Tauchdecken mit einer groß ausgebauten jungen Schmelzzone.

Das Profil wurde 1926 von R. Staub bis zu einer Tiefe von 10 *km* mit geologischen Detailangaben ausgefüllt. Wir erkennen im N und ähnlich auch im S gewaltige Massen von Altkristallin. Es ist recht wahrscheinlich, daß diese Massen vor der Alpenschöpfung noch zusammenhängend waren.

Die heute breit und tief getrennten Massen tragen eine steile dichte Faltung zur Schau. Diese dichtgeschlossene Faltung liefert auch einen Beweis, daß das Altkristallin der Nord- von Südalpen wirklich zusammenhängend war. Durch einzelne Keile von paläozoischen Schichten wird die Möglichkeit geboten, an eine faltenmäßige Auflösung dieser Massen zu denken.

Diese Falten umfassen jeweils große Mächtigkeiten des Grundgebirges und schließen vollständig satt aneinander. Wenn man die Anzahl der Falten kennen würde, wäre aus der Profillänge die Mächtigkeit der verwendeten Schichtfolge wie an einem Maßstabe abzulesen. Dies ist bisher nicht gemacht worden, weil leider doch zu große Lücken in der Aufschließung vorhanden sind.

Diese Faltenreihe wurde unter starkem seitlichen Druck zusammengeschoben. Wahrscheinlich ist dieselbe der Unterbau eines variszischen Gebirges gewesen, dessen Aufragung eingeebnet wurde, wie ja an vielen Stellen die Ablagerung der Verrukanoschichten beweist.

Ist aber die ehemalige Gebirgsaufragung eingeebnet worden, so kann der Rest der Faltenzone heute nicht mehr weit in die Teufe hinabreichen.

So kommen wir zum Schlusse, daß die Tiefenlinie von —10 *km* der Sohle der Faltenzone schon ziemlich benachbart sein dürfte.

Was kann nun unter dieser Faltenreihe liegen? Durch die benachbarte Aufschmelzungszone wird uns wohl die Antwort nahegelegt. Wahrscheinlich ebenfalls eine Schmelzzone.

Hätte R. Staub sein Profil bis — 20 km hinab verlängert, so wäre wahrscheinlich schon der ganze Sockel der alten kristallinen Faltenzone als Schmelzmasse zu bezeichnen gewesen.

Die Betrachtung von Fig. 7 macht uns aufmerksam, daß hier eine alte Faltenzone vorliegt, deren enggefalteter Sockel beim Neubau der heutigen Alpen nicht nur durchbrochen, sondern weithin eingeschmolzen wurde.

Es kann also auch eine alte, so tiefgreifende und dichte Faltung durchaus nicht den Neubau eines Gebirges verhindern, weil der letztere eben von unten her beginnt und sich wahrscheinlich durch Aufschmelzung Lebensraum verschafft.

Die Anschauung, daß bereits ausgefaltete Zonen von älterer Gebirgsbildung einen Schutz gegen neuerliche Gebirgsbildung bieten, kann nicht aufrechterhalten werden, wenn der Neubau von unten her mit mächtigen Aufschmelzungen beginnt.

Einer aufsteigenden Wärmewelle gegenüber ist jede Faltenversteifung machtlos.

Bedient man sich also der Vorstellung, daß eine Gebirgsbildung im Untergrunde zunächst mit dem Hochsteigen einer großen Wärmewelle einsetzt, so sind damit als Begleiterscheinungen Ausdehnung der schmelzenden Gesteine, Vergrößerung ihres Volumens und Steigerung ihrer Beweglichkeit verbunden. Nimmt man weiter an, daß die obere und seitliche Begrenzung der starken Erwärmung sich mit unregelmäßigen Grenzen und ungleichen Geschwindigkeiten ausbreite, so sind damit zahlreiche Anlässe zu Bewegungen gegeben, so zahlreiche, daß die Reihe der Kombinationen kaum zu übersehen ist.

Weiter ist nicht zu vergessen, daß mit dem Hochsteigen von Wärmewellen vulkanische Tätigkeit bestimmt eine Steigerung erfahren muß.

Versucht man eine Kette der zur Gebirgsbildung nötigsten Ereignisse zusammenzustellen, so wäre eine der einfachsten folgende. Den Beginn leitet eine von der Wärme betriebene Hebung ein, von der nach einer oder beiden Seiten Gleitdecken zum Ablauf kommen. Wenn dann aus einem uns noch unbekanntem Grunde diese erste Hebung in eine Senkung übergeht, so könnte dadurch das Heimatland der Gleitdecken in die Tiefe gezogen und von den seitlich hereindrängenden Massen überwältigt werden.

Bei dieser Überwältigung des Heimatlandes der Außendecken konnten auch die Innendecken der Kernzone zur Ausbildung gelangen. Vielleicht war auch hier noch eine starke Erwärmung mitbeteiligt, welche eine Anpassung der Gneiskerne an die falten-

den und rollenden Bewegungen ermöglichte. Diese Formenreihe ist eine der allereinfachsten.

Wahrscheinlich war der Einfluß der Wärmeströmungen und damit auch der Gestaltungen ein wesentlich längerer und mannigfaltigerer.

Es ist eine Aufgabe der künftigen Forschung, diese innigen Beziehungen zwischen dem wenigstens zeitweise sehr heißen und beweglichen Untergrund und der darauf ruhenden Erdhaut aufzuklären. Die Gleitfaltungen haben aber in der Reihe der so von unten her angetriebenen gebirgsbildenden Bewegungen eine wesentlich mithelfende Rolle gespielt.
