

Die methodische Bedeutung der Vulkangeologie für die Lösung erdgeschichtlicher Probleme. II. Teil¹⁾.

**Über die tektonischen Stadien der Gebirgsbildung
und über die Raumschaffung der Intrusionen
durch „Tiefensetzung“²⁾.**

Von Walther Klüpfel (Gießen).

Die geologischen Vorgänge wie Senkung, Hebung, Sedimentation und Abtragung, Vulkanische Erscheinungen usw. pflegen sich bekanntlich zu verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte in gleicher oder ähnlicher Weise zu wiederholen. Man hat daher versucht, diese Vorgänge in gesetzmäßige Reihen zu ordnen. Voraussetzung für ein solches Vorgehen ist die richtige Datierung der einzelnen Ereignisse. Wenn die Datierung falsch ist, so müssen zwangsläufig auch die Schlußfolgerungen hinsichtlich der genetischen Beziehungen irrig ausfallen.

Wir selbst gingen bei unseren Studien von den magmatischen Ereignissen des Vulkanismus und Plutonismus aus und gelangten nach einer strengen zeitlichen Ordnung derselben zu einem magmatischen Cyklus, der sich im Laufe der Erdgeschichte seit dem Präkambrium etwa ein Dutzendmal wiederholt hat. Dann gingen wir auf Grund der Magmenaufstiege und der Intrusionen, welche die tektonische Situation des Gebirges jeweils fixiert haben, zu der Frage über, welche tektonischen Vorgänge die Einzelstadien dieses magmatischen Cyklus jeweils begleitet haben, welche ihnen vorausgegangen sind und welche ihnen nachfolgten.

¹⁾ I. Teil in: Nachr. der Gießener Hochschulgesellschaft 16. Bd. 1946/47.

²⁾ Vorgetragen auf der Arbeitstagung des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens in Brilon am 3. September 1947.

Es ergab sich daraus, daß die tektonischen Bewegungen, welche mit den verschiedenen magmatischen Stadien parallel verlaufen, bei allen Cyklen in der gleichen Weise auftreten. Wir gelangten so zu dem Magmatisch-Tektonischen Cyklus, der die natürliche Einheit für den Ablauf der Erdgeschichte bildet.

Wir konnten zeigen, daß, im Gegensatz zu der bisherigen Datierung, im Vorquartär sich vulkanische Explosionen nur bei einer allmählichen Senkung der Erdkruste ereigneten, daß die vulkanischen Magmenaufstiege und Intrusionen aber erst nach der Faltung oder Bruchfaltung und zwar in einer Zeit der horizontalen Dehnung der Erdkruste erfolgten und daß schließlich der Plutonismus (Granit) erst nach Ablauf der vulkanischen Ereignisse zur Entwicklung kam.

Bisher hat man nun allgemein angenommen, daß der Granitaufstieg aufs Innigste mit der Faltung verknüpft sei. Da diese Datierung unserer Reihe: Tuffe-Faltung-Vulkanintrusionen-Plutonismus widersprach, glaubten wir, den bisherigen Feststellungen der Geologen folgend, für die Zeit des Plutonismus eine zweite Faltung annehmen zu müssen. Inzwischen haben sich aber unsere Bedenken gegen jene Lehrmeinung so sehr verstärkt, daß wir uns zu einer kritischen Nachprüfung dieser anscheinend gut begründeten Auffassung veranlaßt sahen. Die Gründe für die bisherige Annahme eines zeitlich engen Zusammenhanges zwischen Granit und Faltung stützen sich auf die Tatsache, daß die Granite fast ausschließlich in den Faltengebirgen, nur selten aber in Bruchschollengebieten auftreten, daß die Struktur der in Erstarrung begriffenen Schmelze auf einen gleichzeitig wirkenden Faltdruck hinzuweisen scheint, und daß schließlich der Granit selbst noch Anzeichen eines gerichteten Druckes aufweisen kann. Als Aufstiegswege ergaben sich endlich u. a. alte Trennungsfugen der Erdrinde, welche bei der Faltung wieder aufrissen und an denen sich dabei horizontale Verschiebungen vollzogen haben (Paraphoren).

Gegen diese Gründe möchten wir folgende Gesichtspunkte geltend machen: Wenn auch der Granit räumlich in der Regel an das Faltengebirge gebunden ist, so ist damit noch nicht erwiesen, daß Faltung und Granit in ein und dasselbe Stadium fallen. Zunächst steht einer Verbindung von Faltung und Plutonismus

der Grundsatz entgegen, daß Pressung und Dehnung (Schmelzaufstieg) einander ausschließen. Nun findet allerdings auch bei der Faltung eine Längsdehnung statt, welche zu Dehnsprüngen Veranlassung gibt. Ebenso tritt bei Hebung eine Dehnung ein, die von radial zur Aufwölbung aufreißenden Dehnspalten begleitet wird. Tatsächlich sind diese Dehnspalten auch von einigen Forschern als Schmelzaufstiegswege betrachtet worden. Eine kritische Nachprüfung hat aber ergeben, daß die Horizontale Dehnung, welche vertikal in die Magmazone setzende Dehnspalten verursacht, nichts mit jenen Dehnspalten zu tun hat, sondern nur diejenigen von ihnen benutzt, welche zufällig in ihrer Richtung liegen. Ebenso sind die Paraphoren zwar während der Faltung horizontal bewegt, aber erst durch die Horizontale Dehnung der Granitschmelze geöffnet worden. Die Horizontale Dehnung besitzt mithin zeitlich und räumlich einen selbständigen Charakter, wie schon aus dem oft von der Faltung völlig unabhängigen Verlauf dieser untereinander parallelen Dehnspalten hervorgeht.

Einen andern Hinweis auf die tektonische Stellung des Plutonismus geben die Plutonporphyre, deren Intrusivkörper sich, wie z. B. auf der Insel Jersey ³⁾ weder in ihren Aufstiegswegen noch in ihrer Ausbildung, Ausbreitung, Gesamtstruktur usw. von den vulkanischen Bildungen der Nachbarschaft unterscheiden, mithin unter ähnlichen tektonischen Bedingungen ihren Platz erhalten haben mußten.

Für die Strukturen, welche die granitischen Intrusivkörper aufweisen, wurde bisher der Rahmendruck der in Faltung begriffenen Nebengesteine verantwortlich gemacht; weil man aber beobachtete, daß jeweils dort, wo sich der Granit einstellte, eine weitere Faltung ausblieb, so nahm man an, daß die Schmelze die Faltung zum Stillstand gebracht und selbst die tektonische Rolle übernommen habe. Man sprach daher von der „Fortsetzung der Tektonik mit anderen Mitteln“ (H. Cloos). Aus der neuen Theorie der Setztektonik ergibt sich, daß an Stelle eines seitlichen Druckes der Zug nach der

³⁾ In Dankbarkeit sei hier der wirksamen Unterstützung gedacht, welche meinen Studien auf der Insel Jersey besonders durch Miss M. Casimir zuteil wurde.

Tiefe tritt, daß also die Granittektonik sich zusammensetzt aus Wirkungen der Setztektonik vor, während und nach dem Schmelzaufstieg, des Fließdruckes der aufsteigenden Masse, der begleitenden Hebung und aus jüngeren Störungen, welche der Tektogenese des folgenden Cyklus zuzuschreiben sind. Ein Beweis für gleichzeitige Faltung kann also aus der „Granittektonik“ nicht abgeleitet werden. Damit kommen aber auch die Grundlagen für die zuweilen angenommene Primärgneisbildung infolge Faltendruckes auf die Schmelze in Fortfall.

Zuletzt ist noch Stellung zu nehmen zu der übereinstimmenden Beobachtung, daß die Migmatite im Tiefenstockwerk Anzeichen einer Eigenbewegung und stellenweise Faltenbilder aufweisen, welche eine Äquivalenz zu der Faltung im Oberstockwerk nahelegen. So wie der Intrusivgranit sichtlich in den fertigen Faltenbau eindrang, so sieht man auch, daß die Regionalmetamorphose und die ihr folgende Migmatitfront in die fertigen Falten vorrückte, die ihrerseits statisch noch durch die Granitmasse hindurchschimmern. Die Granitisierung hat sich im übrigen deutlich an den vorhandenen Faltenbau angepaßt. Diese allgemein geltenden Feststellungen können u. E. durch untergeordnete Faltungs- und Druckercheinungen nicht umgestoßen werden. Wie ein bemerkenswertes Beispiel in Finnland zeigt, bei dem ein Granit von einem basischen Gang durchsetzt wird, der nachträglich selbst wieder von demselben Granit durchdrungen worden ist, haben wir es bei den erwähnten Erscheinungen mit zwei zeitlich weit auseinanderliegenden Vorgängen zu tun. Zweifellos war der zuerst gebildete Granit bereits verfestigt, als der basische Gang ihn durchbrochen hat. Der Granit wurde dann in einem späteren Stadium teilweise wieder verflüssigt, so daß er nunmehr in den Gang intrudieren konnte. Wir gehen wohl nicht fehl, diesen Vorgang der „Paläingenese“ in das Faltungsstadium des folgenden Cyklus zu verlegen, so daß die beobachteten Anzeichen eines Faltendruckes im Tiefenstockwerk nicht in die Zeit des Materialaufstieges sondern in das Stadium der Faltung fallen, in dem eine solche Zufuhr aus der Tiefe nicht stattgefunden hat.

Auf die Schwierigkeiten, die Stadien des tektonischen Cyklus in Reinzucht zu ermitteln, haben wir bereits früher hingewiesen. Sie

entstehen dadurch, daß die Gesteine, wie sie heute vorliegen, noch den Einflüssen der später folgenden Cyklen ausgesetzt waren. So sind z. B. zur Vergneisung der Orthogesteine mindestens zwei Cyklen erforderlich. Im ersten Cyklus war die Faltung längst vorüber als der Granit emporstieg, so daß die durch den Faltdruck bewirkte Vergneisung des Granits erst im folgenden Cyklus stattfinden konnte.

Zusammenfassend kommen wir zu dem Satz: **Faltung und Horizontale Dehnung (Magmenaufstieg) schließen sich mechanisch und zeitlich aus**⁴⁾. Es hat also, abgesehen von den untergeordneten Faltungsphasen im Geosynklinallstadium nur eine Faltung im Tektonischen Cyklus gegeben. Die Bedeutung dieser Faltung kommt in der „Vertikalen Streuung“ der vulkanischen Intrusivkörper gebührend zum Ausdruck. Bemerkenswert ist dabei die Tatsache, daß ein Einfluß dieser zwischen die vulkanische Explosions- und Intrusionsphase eingeschalteten Faltung auf den Ablauf des Vulkanischen Cyklus nicht zu erkennen ist. Vielmehr setzen die Intrusionen die materielle Förderfolge genau dort fort, wo die Tuff-Phase geendet hat. Diese Regel gilt sowohl für den einphasigen wie für den zweiphasigen vulkanischen Cyklus. Diese Erscheinung ist um so auffallender, als die Schmelze die Tendenz hat, sich dauernd zu differenzieren. Wir nehmen daher an, daß das Magma sich beim Eintritt in das Faltungsstadium wieder verfestigt und erst im Stadium der Horizontalen Dehnung wieder verflüssigt hat.

Die Ermittlung der tektonischen Bewegungen.

Die Grundursachen der tektonischen Bewegungen sind noch hypothetisch und sollen hier nicht behandelt werden. Besonders schwierig ist bei diesen Überlegungen die Entscheidung, was Ur-

⁴⁾ Hat man bisher die Bewegungen des Magmas auf den tektonischen Druck zurückgeführt und hat Cloos und Stille den Aufstieg und die Intrusion des Magmas als „höchste Form der Orogenese“ bezeichnet, so gelangen wir mit unseren Forschungen zu den entgegengesetzten Vorstellungen. Die plutonerzeugende Hebung ist ein epirogener Vorgang, der sich wie die Faltung nur bei mobilem Untergrund, nicht aber im Bruchschollengebiet vollziehen kann.

sache und was Wirkung ist. Wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir die Tektonik letzten Endes auf die Bewegungen eines tieferen Magmas zurückführen. Zunächst gilt es, aus den geologischen Beobachtungen die magmatischen und tektonischen Vorgänge zu erschließen. Bei den tektonischen Bewegungen lassen sich vertikale und horizontale unterscheiden.

Im Geosynklinalstadium herrschen säkulare Senkungs-
bewegungen vor, so daß es zur Bildung der Sedimente kommt. Diese abwärtigen Bewegungen werden allerdings von aufwärts gerichteten Gegenbewegungen, ja selbst von untergeordneten Faltungs- oder Bruchphasen unterbrochen. Auf horizontal wirkende Kräfte in der Tiefe, d. h. auf eine Tiefendehnung muß dort geschlossen werden, wo jene Magmenaufstiege erfolgten, welche die vulkanischen Tuffe geliefert haben. Daß die Zerrspalten der geosynklinalen Einbiegung nicht allein für den Magmenaufstieg verantwortlich gemacht werden können, geht u. a. schon daraus hervor, daß es auch Geosynklinalbildungen ohne Vulkanismus gibt und daß Tuffe bereits zu Beginn der Senkung auftreten können. Offenbar kann der Tektonische Zyklus auch nur dort von magmatischen Erscheinungen begleitet werden, wo die Tiefendehnung ihre Wirkung auf einen prädisponierten Untergrund entfalten kann. Ist dies nicht der Fall, so ist hier während des ganzen tektonischen Zyklusablaufes nicht mit Magmenaufstiegen zu rechnen, wie umgekehrt bereits mit dem Erscheinen der initialen Tuffe der lückenlose Ablauf des Magmatischen Zyklus garantiert ist.

Das eigentliche Faltungsstadium wird von den horizontalen Kräften der Kompression beherrscht. Hier taucht das Problem auf, ob die Faltung während einer Senkung vor sich ging oder von einer aktiven Hebung begleitet war. Wie die Dinge liegen, möchten wir für eine vertikaltektonisch-stationäre Lage eintreten und die vorhandenen Hebungserscheinungen und die gleichzeitige Tiefenentwicklung auf ein passives, faltenbedingtes Höhen- und Tiefenwachstum zurückführen. Analog liegen die Verhältnisse beim Bruchschollengebirge, dessen Herauswachsen aus der Druckzone zu einer Hebung und zum Aufreißen von Verwerfungen geführt hat.

Mit welchen Vertikalbewegungen haben wir nun während der vulkanischen Intrusionen zu rechnen? Auch hier gehen die Meinungen weit auseinander. Für eine in der Regel stationäre Lage über der Erosionsbasis spricht der Umstand, daß eine äquivalente Sedimentation im allgemeinen fehlt und daß die Intrusivscheiben keine gesetzmäßige Über- oder Unterlagerung zeigen. Der dauernde Wechsel von älteren Trapp- und jüngeren Basaltscheiben im Vogelsbergprofil spricht u. E. zugunsten einer vertikaltektonisch-stationären Lage während der Intrusion der vulkanischen Schmelzen.

Anders liegen die Verhältnisse während des Plutonischen Stadiums. Aus der gewaltigen Abtragung des Dachsedimentes, welche bereits Granit- und Vulkanitgerölle in das Basiskonglomerat des folgenden Cyklus entsendet, hatten wir früher auf eine „End-Hebung“ geschlossen. Heute sind wir geneigt, diese Hebung auf das ganze Plutonstadium auszudehnen. Schon die Tatsache, daß nicht nur Explosionen fehlen, sondern der Auflockerungsgrad der Gebirgsmasse ein Höchstmaß erreicht, deutet darauf hin, daß nicht nur die Horizontale Dehnung, sondern auch eine vertikale Hebung wirksam war. Für eine solche säkulare Hebung spricht auch die aufwärts gerichtete Eigenbewegung des Magmas und des Migmas sowie der Bau der riesigen Granitlakkolithe. Auch das Ausmaß der Setzerscheinungen dürfte bei einer gleichzeitigen Wirkung von Hebung nach oben und Zug nach unten leichter verständlich sein.

Unterschiede zwischen Vulkanismus und Plutonismus.

Die bisherige Einteilung der magmatischen Erscheinungen in einen Vulkanismus der Oberfläche und einen Vulkanismus der Tiefe (Plutonismus) beruht auf der veralteten Vorstellung, daß der Granit das Herdgestein für die Vulkane abgegeben habe. Diese Definition ist heute überholt mit dem Nachweis der Intrusivnatur der vorquartären Laven, durch die Tatsache, daß der Granit auf den Vulkanismus folgt und daß die vulkanischen Laven aus viel größeren Tiefen stammen als das „Tiefengestein“.

der Granit. Wo vulkanische und plutonische Schmelzen in gleicher Tiefe erstarren, zeigen die Vulkanite dichte oder feinkörnige, die Plutonite grobkörnige Struktur. Das grobe Korn ist also nicht, wie man früher annahm, eine Funktion der Tiefe, sondern ist auf den Reichtum an leicht-flüchtigen Bestandteilen und auf die aufsteigende Wärme zurückzuführen, welche ein schnelles Erstarren verhindert hat. Andererseits kann man die Korngröße nicht als Kriterium für die Plutonite verwenden, da auch die Randausbildungen der Plutone, die Plutonporphyre sowie die dem Granit entspringenden Pseudovulkanite ein feines Korn aufweisen können.

Der grundlegende Unterschied zwischen Vulkanismus und Plutonismus liegt in ihrer Abstammung und ihrer zeitlichen Position im Cyklus. Die Vulkanite sind aus der simatischen Magmazone herzuleiten, wobei die saueren Vertreter wahrscheinlich auf einer Entmischung der Schmelze in der Tiefe beruhen. Mit Recht wurden daher die Sauerer Gesteine als „entartete Vulkanite“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu entstammt das plutonische Magma der Sialkruste. Ein Unterschied zwischen dem Vulkanismus und dem Plutonismus besteht darin, daß sich der Vulkanismus bei einer die Erdkruste verdichtenden Senkung in Tuff-Förderungen äußert, während Explosionen im Plutonstadium bisher nicht nachgewiesen und nach Lage der Dinge auch gar nicht zu erwarten sind. Ein anderes wichtiges Kriterium ist die Tendenz der stofflichen Förderfolge. Die Vulkanite gehen ganz allgemein vom Sauerem zum Basischen, die Plutonite vom Basischen zum Sauerem. Allerdings gibt es Fälle, in denen die basische Förderphase der Vulkanite zweimal vom Sauerem zum Basischen verläuft (Vogelsbergbasalte) oder in denen gewisse Rekurrenzen auftreten. Wie sich die fast ausschließlich saueren Pseudovulkanite verhalten, steht noch nicht fest. Möglicherweise verläuft hier, ähnlich wie bei den Vulkaniten, die Entwicklung vom Sauerem zum Basischen. Eine Sonderstellung nehmen die „Hypabyssischen Gesteine“ im Vulkanismus ein. So tritt der Essexit im Vogelsberg, Kaiserstuhl und in Böhmen zwischen den Basalten auf. Seine Position ist eine ähnliche wie das von basischen Vorläufern eingeleitete Auftreten der intrabasaltischen Granite von Mull, Skye (Schottland) und anderen Alkaligesteinen des Bruch-

schollengebirges, welche auf einer Differenzierung des simatischen Magmas beruhen. Vielleicht ist das Auftreten dieser Gesteine mit einer vorübergehenden Hebung des sonst vertikal-stationären Gebietes in Verbindung zu bringen.

Aus unseren Ausführungen geht hervor, daß weder der Chemismus oder der Mineralbestand, noch die Struktur und Textur, noch die Form der Magmatite zuverlässige Kriterien zur Unterscheidung der Vulkan- und Plutongesteine abgeben können. Es ist daher kein Wunder, daß alle bisherigen Klassifikationsversuche zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis geführt haben. Allein das genetische System ist imstande, allen Anforderungen gerecht zu werden. Indem wir an Stelle der bisherigen Einteilungsmerkmale die Stellung des Gesteins im zeitlichen Ablauf des Magmatischen Cyklus zugrunde legen, gelangen wir zu einer neuen Klassifikation der Magmatite, welche dem genetischen System zum mindesten sehr nahe kommt.

Die Raumschaffung der Intrusionen durch „Tiefensetzung“.

Von alters her hat man sich mit der Raumschaffung der vulkanischen und plutonischen Intrusion beschäftigt und sich namentlich bei den Granitmassen die Frage vorgelegt, wie sie ihren Platz im Gebirge gewonnen haben. Da die bisherigen Theorien, die Aufschmelzhypothese, die Platzaustauschhypothese durch Aufstemmen und Übersichbrechen (Overhead stoping) usw. nicht restlos befriedigen konnten, ist die Frage bis heute offen geblieben.

Unsere Beobachtungen an Granitkontakten auf der Kanalinsel Jersey führten uns zu der Überzeugung, daß es sich bei den Nebengesteinsgrenzen um Abrißflächen handelt, an denen das Gestein in die Tiefe gesunken ist. Bei der Bearbeitung der Magmatisch-Tektonischen Stadien der Gebirgsbildung traten dann die Zusammenhänge deutlicher in Erscheinung. Schon beim Vulkanismus haben wir die Tatsache, daß die Intrusionen ohne Explosion verliefen, damit erklärt, daß das Magma infolge der allgemeinen Auflockerung im Gefolge der Horizontalen Dehnung seinen Gasgehalt verloren hatte, bevor es in das Gebirge eindrang. Während des

Plutonstadiums war die Auflockerung noch erheblich stärker, da zu der Dehnung noch die Hebung hinzutrat. Die Folge war eine flächenhafte Druckentlastung und eine Entgasung der aktivierten Granitzone, welche zu einem erheblichen Substanzverlust führte. Dieser war um so größer, als das vorher unter Druck stehende Magma ganz besonders große Mengen mehr oder weniger flüchtige Bestandteile in Lösung hielt. Die säkulare Abdampfung hatte eine fortschreitende Volumverminderung zur Folge, die sich bald in Setzerscheinungen innerhalb der hangenden Kruste auswirken mußte. Diese Setzung erfolgte namentlich dort, wo leicht teilbare Trennungsflächen, Unstetigkeiten im Material und Diskordanzen vorlagen wie an der Grenze von Gneis und prävaristischem oder paläozoischem Deckgebirge. Unter Umständen wurden selbst gefaltete Schichtpakete horizontal mitten auseinander gerissen. Im einzelnen folgen die Setzrisse mit Vorliebe Schichtflächen, präexistierenden Klüften, Spalten und Störflächen. Oft sind die Setzrisse stufig ausgezackt und mit kleinen und großen Kluftnischen versehen. Zuweilen reißen steilgestellte Schichten selektiv nach der Gesteinsfestigkeit ab, so daß festere Bänke frei in die Abrißlücke hineinragen (Roof pendants). Außer horizontalen Setzlücken und Aufblätterungen entstehen auch kegel- oder haubenförmige, vielleicht auch pingentartige Hohlformen mitten im Gebirge, während die höchsten Krustenteile infolge der Gewölbespannung intakt bleiben. Die einströmende Granitschmelze verhindert i. allg. ein Nachbrechen des Daches, doch deuten Kesselbrüche auf ihre Entstehung durch Setzvorgänge hin.

Die Granitschmelze stieg nun an alten, neugedehten Trennungsnarben tektonischer Großschollen, an Paraphoren oder an vertikalen Setzrisen hoch und ergoß sich in die entstehenden Setzlücken. Das Wachstum der Setzlücken von oben nach unten und das Eindringen der Granitschmelze waren gleichzeitige und säkular fortschreitende Vorgänge. Der Raum für die Intrusivmassen ist also nach unten gewonnen worden. Die Ausfüllung der zuweilen durch ein rechtwinkliges Kluftsystem geometrisch begrenzten Setzlücken geschah ohne jede Gewaltanwendung. Dabei war das Overhead stoping nur eine Begleiterscheinung des Abrißvorganges, indem die Schmelze, in die umgebenden Klüfte eindrin-

gend und unterstützt durch die Wärmeabgabe, lose an der Decke hängende Blöcke oder Schollen ablöste. Im Laufe der fortschreitenden Setzung können die alten Setzrisse zu wiederholten Malen aufreißen oder es können in dem erkaltenden Granit selbst Setzrisse auftreten, die mit den Schmelzen eines jüngeren Nachschubes ausgefüllt werden. So die häufig flachfallenden oder horizontalen Aplitgänge. Auf diese Weise kann eine plutonische Gesteinsmasse von einer anderen, abweichenden intrudiert werden usw. Bezeichnend ist, daß das Nebengestein weder Aufschmelzungserscheinungen noch Spuren einer mechanischen Beanspruchung durch die aufsteigende Granitschmelze, sondern lediglich Kontakterscheinungen zeigt. Die sogenannte Granittektonik besteht zu einem großen Teil aus Setzerscheinungen. Die Setztektonik steht genetisch im Gegensatz zur Eutektonik und umfaßt alle jene Spalten, Abrißlücken und Gänge, welche mit der Schrumpfung des entgasenden Tiefenmagmas zusammenhängen und mit magmatischen Restschmelzen und pneumatolytischen und hydrothermalen Derivaten gefüllt sind (Ganggesteine, Mineral- und Erzgänge). Da die Setzung der breiten Basis der aktivierten und entgasenden Granitzone entspricht, reichen die Setzerscheinungen weit über den Bereich der Intrusivkörper hinaus.

Die Metamorphosen.

Ausgehend von der Ansicht, daß die Regionalmetamorphose nichts anderes als eine ins Riesenhafte entwickelte Kontaktmetamorphose der Tiefe darstellt, haben wir sie als Wirkung der flächenhaften Entgasung und pneumatolytischen Emanation gedeutet, welche von der Sialzone im Aktivierungsbereich der Auflockerung ausgeht. Diese Stellung der Regionalmetamorphose erklärt auch die graduellen Übergänge in die liegende Region der Migmatitbildung und Granitisierung. Hat man bisher die Granitbildung und die Regionalmetamorphose vielfach als zeitlose Vorgänge der Tiefe betrachtet, so neigen wir der Ansicht zu, daß beide Vorgänge auf das Stadium des Plutonismus beschränkt sind und daß die Regionalmetamorphose sowie die Granitisierung und Migmatisierung nicht eine Folge der Versenkung oder Faltung darstellt, sondern im Gegenteil während einer Hebung und hochgra-

digen Auflockerung durch Wärme- und Stoffzufuhr von unten eingetreten ist.

In derselben Weise ist die Dynamometamorphose bzw. die Vergneisung durch gerichteten Druck auf das Stadium der Faltung beschränkt. In der Tiefe werden also die Wirkungen der Dynamometamorphose von denen der Regionalmetamorphose und diese von der Migmatisierung überprägt.

Die Hauptstadien der Gebirgsbildung im Magmatisch-Tektonischen Cyklus.

I) **Geosynklinale Stadium**: Infolge des Massenüberschusses in der Tiefe herrscht säkulare Senkung unterbrochen von untergeordneten Gegenbewegungen. Im Oberstockwerk der Mulde tritt Verdichtung, im Unterstockwerk Zerrung ein, welche durch Tiefendehnung betont wird. Infolge Druckentlastung dringt das aktivierte Magma auf den Zerrspalten bis zur neutralen Fläche hoch und kühlt sich hier ab. Die angesammelten Gase durchschlagen das dichte Oberstockwerk in Explosionsröhren. Die ausgeworfenen Aschen werden in der Geosynklinale als Tuffe sedimentiert. — Im Tiefenstockwerk ist mit zunehmender Sedimentation u. U. mit einer Belastungsmetamorphose zu rechnen.

II) **Faltungsstadium**: Kompression bewirkt Faltung, bei konsolidiertem Untergrund tritt mit Hebung verbundene Bruchfaltung ein. Eine vertikaltektonisch-stationäre Lage der Falten ist wahrscheinlich. Infolge der Längendehnung treten Quersprünge auf. Im Verlauf der Faltung kann es zu horizontalen Verschiebungen (Paraphoren) kommen. Magmatische Erscheinungen fehlen. Dynamo- oder Streßmetamorphose kann im folgenden Cyklus zur Wiederaufschmelzung eutektischer Gesteine und schließlich zur Vergneisung führen.

III) **Stadium der Vulkanintrusionen**: Es herrscht die Horizontale Gesamtdehnung. Als Folge Aufreißen vertikaler, klaffender Dehnspalten, welche bis zur vulkanischen Zone hinabreichen. Durch Druckentlastung wird die Basaltzone mit ihren saueren Deckschichten aktiviert. Die Entgasung führt im Deckgebirge zu Setzlücken, in welche das gasverarmte Magma eindringt

und die vulkanischen Intrusivkörper bildet. Explosionen fehlen. Während der vulkanischen Intrusionen verharret das Gebirge in vertikaltektonisch-stationärer Lage.

IV) Stadium der Plutonintrusionen: Die Horizontale Gesamtdehnung wird noch durch Hebung verstärkt, so daß es zu einer großen Auflockerung des Gebirges kommt. Die Druckentlastung führt eine Aktivierung der Sialzone herbei. Eine säkulare Entgasung und die pneumatolytische Emanation der flüchtigen Bestandteile verursachen eine allgemeine Metamorphose des Gebirgsfundaments (Regionalmetamorphose). Aufsteigen der Migmatitfront und selektive Granitisierung des präexistierenden Faltengebirges. Das Abdampfen der Stoffe bewirkt eine fortschreitende Volumverminderung des Magmas, welche in den überlagernden Gebirgsmassen Setzerscheinungen auslöst. Infolge dieser Tiefensetzung reißen horizontale und verschieden gerichtete Setzrisse besonders zwischen Tiefenfundament und Grundgebirge und im gefalteten Grundgebirge selbst auf. Die sich säkular erweiternden Setzlücken werden von der aufsteigenden Granitschmelze ausgefüllt. In den plutonischen Intrusivkörpern selbst und in ihrer Umgebung bilden sich setztektonische Spalten, die mit Restschmelzen oder Derivaten des Magmas ausgefüllt werden (Gangphase, Mineral- und Erzgänge).

V) Stadium des Pseudovulkanismus: Zum Teil während, hauptsächlich aber nach dem eigentlichen Plutonismus tritt wieder, ganz wie beim Stadium der vulkanischen Intrusionen, die Horizontale Dehnung aufs Deutlichste in Erscheinung. Aus dem granitischen Herd werden meist rhyolitische, oft fluidal struierte Schmelzen gefördert, deren Gesteine durch Convergenz dem vulkanischen Quarzporphyr ähnlich werden. Explosionen fehlen. An die oft parallel streichenden Förderspalten können sich intrusive Scheiben anschließen.

Wiederholte Zyklusbildung führt zur Vergneisung und zur Konsolidation. Die magmatische Schmelze wird dann und dort gebraut, wo sie zur Ausheilung der Dehnspalten und Setzkavitäten benötigt wird. Sie führt zusammen mit der Faltung die Versteifung der Erdrinde herbei.