

# **Die methodische Bedeutung der Vulkangeologie für die Lösung erdgeschichtlicher Probleme.**

Bericht über meine Forschungsergebnisse  
in den Jahren 1921—1945.

Von Walther Klüpfel.

Als ich mich, aus der montangeologischen Praxis kommend, im Jahre 1921 an der Universität Gießen für das Fach der Geologie habilitierte, hatte ich nur eine unklare Vorstellung von den Schwierigkeiten, welche mir das Studium dieser Gegend bereiten würde. Trotz der Mannigfaltigkeit der geologischen Verhältnisse habe ich aber auch nicht im Entferntesten vorausgesehen, welche reiche Erträge dieser schwere Boden bei einem beharrlichen Beackern abwerfen kann.

Aufträge von seiten der Praxis zur Aufsuchung der Tertiärquarzite, die für die Industrie feuerfester Produkte ein geschätztes Material abgeben, führten mich bald zu der Überzeugung, daß diese oft versteckten und verschiedenartigen Lagerstätten nur von genetischen Gesichtspunkten aus beurteilt werden können und daß nur ein genügend großes Blickfeld die paläogeographischen Zusammenhänge erkennen lassen und die notwendigen Vergleichsmöglichkeiten bieten würde. Nach 24 Jahren mühsamen Ringens mit dieser komplizierten Materie gelangte ich schließlich durch die Methode der fortgesetzten Korrekturen zu einer vollkommenen Neugliederung der westdeutschen Tertiärformation. Die Ablagerungen, welche sich zum Teil in ähnlicher Ausbildung vielfach wiederholen, sind von zahlreichen Bruch- und Abtragsphasen unterbrochen worden, so daß in dem verwirrenden Schollenmosaik jedes selbständige Schichtglied jedem älteren oder unmittelbar dem Fundament auflagern kann. Bei der Ermittlung der etwa 60 verschiedenen Entwick-

lungsstadien hat die Paläogeographie eine wirksame Kontrolle geboten. Als Endresultat dieser Entwicklung ergaben sich dann die Gesichtspunkte zur Beurteilung der heutigen Oberflächengestaltung. Zahlreiche Kartierungsarbeiten in Westerwald, Vogelsberg, Rhön und Niederhessen, von mir und meinen Schülern durchgeführt, ließen allmählich die Zusammenhänge klar hervortreten.

Da ich häufig vor der Aufgabe stand, die Quarzitlager unter der Basaltbedeckung nachzuweisen, kam ich zwangsläufig auch zum Studium der vulkanischen Bildungen, die früher fast ausschließlich von den Mineralogen auf petrographischer Grundlage bearbeitet worden waren. Bald entdeckte ich, daß die Vulkangebilde auch vom geologischen Standpunkt aus beurteilt und erforscht werden können und nachträglich erwies sich der eingeschlagene Weg, die Vulkangesteine im Rahmen der geologischen Vorgänge zu betrachten, als richtig, ja, als der einzig mögliche. Das Problem war also von der stratigraphisch-tektonischen Seite her anzupacken.

Suchte ich bei den Vulkanbauten anfangs noch mit den üblichen Vorstellungen auszukommen, so ergaben die Aufschlüsse bald so viele Widersprüche, daß manche alte Deutung über Bord geworfen werden mußte. Natürlich konnte auch hier die Befreiung von althergebrachten Denkgewohnheiten nur schrittweise erfolgen.

Zunächst ergab sich die Notwendigkeit, die vulkanischen Aschen als Explosionsprodukte oder „Wurfgesteine“, die sedimentierten Tuffe scharf von den „Fließgesteinen“ oder Laven abzutrennen. Man hatte bis dahin auf ihre stoffliche und zeitliche Unterscheidung kein Gewicht gelegt, wechseln doch heute Aschenauswürfe und Lavaergüsse in beliebiger Reihenfolge miteinander ab. Bald stellte es sich heraus, daß unter dem Begriff „Tuff“ alles nur mögliche Basaltmaterial, wenn es nur weich, mürbe, schlackig oder brekziös war, verstanden wurde. Vielfach waren indessen die angeblichen Tuffe schon an ihrer Struktur als Lava zu erkennen, in anderen Fällen ließ der Übergang in kompakten Basalt keinen Zweifel an der Fließnatur des Gesteins.

Nachdem ich nun die echten Tuffe von den „Tuffoiden“, d. h. den tuffähnlichen Fließgesteinen abgetrennt hatte, wurde durch die Schichtung, die Fossilführung und den Wechsel mit normalen Sedimenten klar, daß in der Vorzeit die von den Vulkanen ausgeschleuerten Aschen stets ins Wasser fielen und darin zur Ablagerung gekommen sind. Aus der häufigen Wechsellagerung der Tuffe mit Kohlenflözen, Korallenriffkalken und anderen senkungsanzeigenden Bildungen ergab sich der Satz, daß in den vordiluvialen Zeiten Explosionen und Aschenauswürfe nur bei allmählicher Senkung der Erdkruste stattgefunden haben (1927).

War das Tuffmaterial bei Senkung, d. h. bei einer Kompression der Erdkruste, durch Explosionen ausgeschleudert worden, so erfolgte der Aufstieg der Basaltschmelze in Gängen, d. h. auf klaffenden Vertikalspalten, welche eine horizontale Dehnung voraussetzten. Da aber der Schauplatz der Explosionen und der „Ergüsse“ derselbe war, so ergab sich daraus mit eiserner Konsequenz, daß diese beiden mechanisch vollkommen entgegengesetzten Vorgänge der Pressung und Dehnung am selben Ort nicht zu gleicher Zeit sondern nur nacheinander auftreten konnten. In der Tat wird wohl der Tuff vom Basalt, aber niemals der Basalt vom Tuff durchbrochen. Wir gelangten also im Jahre 1932 und in der Folge zu dem Eruptionsgesetz der vorquartären Vulkane: Im Vorquartär haben Explosionen nur bei allmählicher Senkung der Erdkruste, Ergüsse in Form von Intrusionen nur bei einer, auf eine Orogenese folgenden, horizontalen Dehnung stattgefunden.

Dieser Satz fand nun seine Bestätigung in dem Nachweis, daß die Tuffschichten und die begleitenden Sedimente nicht nur schon vorhanden, sondern bereits allenthalben von Verwerfungen zerstückelt waren, bevor die Basaltschmelze auf vertikal aufreißenden Dehnspalten empordrang. Damit war die Beweiskette für die scharfe zeitliche Trennung von Explosion oder Tuff und „Erguß“ geschlossen und vor allem die weit verbreitete Ansicht, die Schmelze habe sich als oberflächennaher Schlammflüßer in das noch weiche Sediment des Meeresbodens eingewühlt, widerlegt. Aus den Beobachtungen folgt zugleich mit zwingender Notwendigkeit, daß alle

Eruptivkörper, wie die Basaltscheiben usw., welche den Tuffen und Sedimenten eingeschaltet sind, nachträgliche Intrusionen in das gestörte, d. h. vorgefaltete oder zerbrochene Gebirge darstellen. Ganz elementar kommt diese Diskordanz zwischen Sediment und intrusiver Lava in dem Kontrast zum Ausdruck, der zwischen den gefalteten oder zerstückelten Sedimenten und den sie durchquerenden ruhigen Plateaubasalten besteht (Thuleplateau, Columbiaplateau<sup>1)</sup>, Dekkan usw.).

Unser Fortschritt besteht also nicht so sehr in der häufigen Beobachtung des Dachkontaktes, den ja die bisherige Lehre damit erklärte, daß die Schmelze infolge ihres Eigengewichts in das noch nicht verfestigte Sediment eingesunken sei, sondern in dem erstmaligen Nachweis der Posttuffischen Störungsphase. Da man früher die Entstehung der Dachkontakte, die sich zwanglos in den Vorstellungskreis der subaquatischen Ergüsse einfügte, wie diese in eine Sedimentations- und Senkungsphase verlegte, mußten die Beobachtungen der Kontakterscheinungen ohne grundsätzliche Bedeutung für die Tektonik bleiben.

Bereits die alten Geognosten hatten bei der Deutung der Schmelzkörper neben den herrschenden Oberflächenenergüssen, submarinen Lavaströmen usw. vereinzelte Intrusionen, d. h. unterirdisch in die Schichtgesteine eingedrungene Lagergänge unterschieden. Ich sah mich also, schon im Interesse einer exakten Datierung der vulkanischen Vorgänge, vor die Aufgabe gestellt, diese beiden Bildungen der Effusion und Intrusion voneinander zu unterscheiden. Eine solche Trennung erwies sich aber immer deutlicher als unmöglich, da alle bisher zur Unterscheidung verwandten Kriterien, wie Absonderung, Blasenbildung, Oberflächenwülste, Fluidalstruktur usw. versagten, weil sie sowohl bei den heutigen Oberflächenlaven wie bei unzweifelhaften Intrusivbildungen auftreten. Überdies stimmten alle Gesteine strukturell und mineralogisch überein, so daß auch an eine Trennung auf petrographischer Grundlage nicht zu denken war. Heute wissen wir, daß es für das

<sup>1)</sup> Da z. B. im Columbia-Plateau Nordamerikas das gemeinsam mit dem Liegenden der Basaltintrusionen gefaltete Dachsediment durch Abtragung entfernt ist, glaubte man bisher, daß basaltische Oberflächenströme sich diskordant über die Rumpffläche eines gefalteten Untergrunds ergossen hätten.

Vorquartär eine Fragestellung, ob Oberflächenerguß oder Intrusion nicht gibt, weil sämtliche Vulkanite des Vorquartärs intrusiv sind und es Oberflächenergüsse vor dem Diluvium nicht gegeben hat.

Dies geht bereits aus dem Eruptionsgesetz zur Genüge hervor, spiegelt sich aber auch in dem Gegensatz wieder, welcher zwischen der profilmäßigen Übereinanderlagerung der Eruptivkörper und der wahren Förderfolge besteht. Auf die zahlreichen übrigen Beweise für die Intrusivnatur der vorquartären Schmelzkörper brauche ich daher an dieser Stelle nicht einzugehen.

Könnte man bisher bei den regellos ins Sediment eingeschalteten Vulkankörpern keine Gesetzmäßigkeit in der stofflichen Förderfolge der Schmelzen erkennen, weil man sie als Oberflächenergüsse auffaßte, so war nun mit der Ermittlung ihrer Intrusivnatur sofort die Möglichkeit einer Reihenordnung gegeben, und durch die Aufeinanderfolge der verschiedenen Tuffe und durch die gegenseitigen Durchbrechungen der Schmelzkörper ergab sich die klare Förderregel: Im Vorquartär begann der Vulkanismus jeweils mit relativ saueren, d. h. kieselsäurereichen Eruptionen und führte über intermediäre zu basischen, d. h. dunklen und schweren Förderprodukten<sup>2)</sup>. Abgesehen von dieser Förderregel ergaben sich noch viele andere Gesetzmäßigkeiten, welche von nun an in der „Methodik der vulkangeologischen Analyse“ Anwendung finden können.

Wenn ich bei diesen, aus dem tertiären Vulkangebiet Hessens abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten auch sofort das Gefühl hatte, daß sie nicht auf die Verhältnisse der engeren Heimat beschränkt seien, so wurde weiterhin die grundsätzliche Bedeutung dieser Beobachtungen und Folgerungen in allen möglichen Formationen des In- und Auslands nachgeprüft und es ergaben sich überall dieselben Verhältnisse.

Zuletzt wurde auch noch der Granit in den Bereich der Betrachtung einbezogen und vor allem das zeitliche und ge-

<sup>2)</sup> Bei der bisherigen Ermittlung der vulkanischen Förderfolge hat die Einbeziehung von Gesteinen der postvulkanischen Gangphase, oder die Einbeziehung von Pseudovulkaniten plutonischer Abstammung häufig zu irrigen Schlußfolgerungen geführt.

netische Verhältnis des Vulkanismus zum Plutonismus studiert.

Bisher glaubte man, daß sich an die Periode der vulkanischen Eruptionen noch eine lange Zeit der Ruhe und Sedimentation angeschlossen habe (z. B. Oberdevon der Lahn-Dill-Mulde, Oberrotliegendes). Diese irrige Annahme basierte auf dem Sediment, das im beobachteten Profil über der obersten Lavabank vorhanden ist und das gemäß deren Intrusivnatur unserem „Dachsediment“ entspricht. Da es sich also nicht um Oberflächenergüsse, sondern um Intrusionen handelt, die erst nach der Ablagerung, Heraushebung und der tektonischen Störung des Dachsediments ins Gebirge eintraten, die Granitintrusion aber den zeitlich nächstfolgenden Sedimenten vorangeht, so kommen wir zu dem eindeutigen Ergebnis, daß der Plutonismus vom Vulkanismus nicht durch eine lange Senkungs- und Sedimentationsphase getrennt ist, sondern daß der Plutonismus dem Vulkanismus auf dem Fuße folgt.

Andererseits hatte man früher dem Verhältnis zwischen Vulkanismus und Plutonismus die Beobachtung zugrunde gelegt, daß der Quarzporphyr, der auch als Randfazies des Granits auftritt, in Gängen vom Granitkörper ausgeht, das Dachsediment des Granits durchbricht und höher — wie man glaubte an der Erdoberfläche — deckenförmige Lager bildet. Man faßte daher den Granit als Bildung eines plutonischen Tiefenherds auf und leitete aus diesem den Vulkanismus der Oberfläche ab. Man übersah dabei, daß es sich hier in dem Quarzporphyr nicht um das ganz ähnliche Vulkangestein, sondern um eine konvergente Bildung plutonischer Abstammung handelt.

Mit unserm erstmaligen Nachweis, daß der vulkanische Cyklus zeitlich unmittelbar von den Plutoniten gefolgt wird, ergab sich, daß der Granit nicht der Vater, sondern der Sohn des Vulkanismus ist.

Damit ist das bisher völlig verkannte Verhältnis zwischen Vulkanismus und Plutonismus eindeutig geklärt.

Bei dieser Gelegenheit sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Intrusivnatur der Vulkanite und die unmittelbare Aufeinanderfolge: Vulkanismus-Plutonismus untrennbar miteinander verknüpft sind. Wer daher die Intrusivnatur der Vulkanite leugnen und de-

ren Dachsediment als postvulkanisch betrachten würde, könnte nicht gleichzeitig den engen Zusammenhang von Vulkanismus und Plutonismus vertreten.

So setzt sich nun unser magmatischer Cyklus, der sich seit dem Präkambrium etwa ein dutzendmal im Laufe der Erdgeschichte wiederholt hat, zusammen aus einem Vulkanicyklus primärer Art mit der Förderfolge Sauer-Basisch und aus einem Plutoneyklus als sekundäre Bildung mit der Schmelzfolge Basisch-Sauer. Mit Hilfe der gesammelten Erfahrungen ist es nun nicht mehr schwierig, den Ablauf eines magmatischen Cyklus festzustellen. Am Anfang steht der Sauerer Tuff, am Ende der Granit. Untergeordnete Ausnahmen von der allgemein herrschenden Förderregel sind nicht selten<sup>3)</sup>, dagegen ist es bis heute nicht gelungen, einen vorquartären Oberflächenerguß als solchen nachzuweisen, insbesondere dort, wo die zeitlich zugehörige Landoberfläche wegen ihrer Lage unter der Erosionsbasis unzerstört erhalten blieb.

Die Folgen, welche unsere Erkenntnisse für die meisten Gebiete der Geologie zwangsläufig nach sich ziehen, stehen in keinem Verhältnis zu den harmlosen Beobachtungen, mit denen unsere Studien begannen und sind heute noch nicht zu überblicken. Hier müssen wir uns auf ganz wenige Hinweise beschränken:

Zunächst ergibt sich entgegen dem Aktualitätsprinzip für die Zeitenwende Tertiär/Quartär ein spontaner Umschwung im Mechanismus der magmatischen Vorgänge<sup>4)</sup>.

<sup>3)</sup> Gewisse Rekurrenzen werden stellenweise in den Tuffen angegeben; z. B. Auftreten von Basalttuff im Rheinischen Trachyttuff, Wechsel von saueren und basischen Tuffen im Untereocän Dänemarks, Tephrittuff auf Basalttuff folgend in Böhmen.

Besonders auffallend sind Einschlüsse von basischen Gesteinen in den saueren Tuffen, die denen gleichen, welche erst später den Tuff durchbrochen haben. Ebensolehe Einschlüsse können die Fließgesteine beherbergen, so daß oft die auf Grund der Einschlüsse aufgestellte Förderfolge derjenigen widerspricht, welche auf Grund der Durchbrechungen gewonnen wurde. —

Unklar ist bisher die Stellung der Doleritsills geblieben, die jünger als die Alkaligranite der Insel Mull sind.

<sup>4)</sup> Eine gewisse Entwicklung der verschiedenen Magmencyklen im Lauf der Erdgeschichte spricht gegen eine kosmische Ursache dieser Revolution und gegen eine Einwirkung von außen her.

Waren im Vorquartär, also bei den Altvulkanen, vulkanische Herde im heutigen Sinne nicht vorhanden und drang das Magma aus Tiefen von 60—70 km auf, so treten die ersten vulkanischen Herde beim Beginn der Diluvialzeit in geringen (5—8 km) Tiefen in Aktion. Ihnen entspringen die Neuvulkane, die sich gegenüber den alten Horizontalbauten durch einen oberflächlichen Aufschüttungskegel auszeichnen und normalerweise gerade die umgekehrte Förderfolge wie die Altvulkane zeigen. Die Entstehung der neuvulkanischen Herde fällt zeitlich und daher wohl auch ursächlich mit dem erstmaligen Einbruch der Tiefseegebiete und mit dem erstmaligen Aufsteigen der Hochgebirge zusammen. In dieselbe Zeit des allgemeinen Umschwungs fällt der Beginn der Eiszeit.

Für die Geophysik ergibt sich weiterhin, daß der bisher allgemein übliche Vorstellungskreis von den Beziehungen der Geosynklinalen und Gebirgsbildung zum Magma eine grundlegende Änderung erfahren muß. Für die Erdgeschichte bedeutsam ist die Tatsache, daß viele Zeiten, in denen bisher auf Grund der Gesteine eine vulkanische Tätigkeit angenommen wurde, einer solchen entbehren, da diese Gesteine (Tuffoide und Intrusionen) erst nachträglich in diese Formationen eingedrungen sind.

Für die Paläogeographie ergibt sich durch diese Infraintrusionen, d. h. durch solche, die ihre Tuffe unterfahren haben, die Möglichkeit, einstmals vorhandene Sedimentationsräume, und zwar zeitlich genau, zu rekonstruieren, obwohl alle diese Ablagerungen längst der Abtragung zum Opfer gefallen sind. Bei dieser Gelegenheit sei nochmals daran erinnert, daß die vulkanischen Intrusionen räumlich an den Verbreitungsbereich der Tuffe gebunden sind, die laut Eruptionsgesetz die Repräsentanten einer Senkungs- und Sedimentationsphase darstellen.

Besonders wertvoll scheinen mir aber die Folgen der Erkenntnisse für die Tektonik zu sein, ein Gebiet der Geologie, das trotz seiner fundamentalen Wichtigkeit bisher einer klaren und einheitlichen Deutung getrotzt hat. Sind schon im Eruptionsgesetz selbst wichtige tektonische Vorgänge verankert, so können wir die Intrusionen vulkanischer und plutonischer Schmelzen dazu be-



ren Dachsediment als postvulkanisch betrachten würde, könnte nicht gleichzeitig den engen Zusammenhang von Vulkanismus und Plutonismus vertreten.

So setzt sich nun unser magmatischer Cyklus, der sich seit dem Präkambrium etwa ein dutzendmal im Laufe der Erdgeschichte wiederholt hat, zusammen aus einem Vulkaneyklus primärer Art mit der Förderfolge Sauer-Basisch und aus einem Plutoneyklus als sekundäre Bildung mit der Schmelzfolge Basisch-Sauer. Mit Hilfe der gesammelten Erfahrungen ist es nun nicht mehr schwierig, den Ablauf eines magmatischen Cyklus festzustellen. Am Anfang steht der Sauerer Tuff, am Ende der Granit. Untergeordnete Ausnahmen von der allgemein herrschenden Förderregel sind nicht selten<sup>3)</sup>, dagegen ist es bis heute nicht gelungen, einen vorquartären Oberflächenerguß als solchen nachzuweisen, insbesondere dort, wo die zeitlich zugehörige Landoberfläche wegen ihrer Lage unter der Erosionsbasis unzerstört erhalten blieb.

Die Folgen, welche unsere Erkenntnisse für die meisten Gebiete der Geologie zwangsläufig nach sich ziehen, stehen in keinem Verhältnis zu den harmlosen Beobachtungen, mit denen unsere Studien begannen und sind heute noch nicht zu überblicken. Hier müssen wir uns auf ganz wenige Hinweise beschränken:

Zunächst ergibt sich entgegen dem Aktualitätsprinzip für die Zeitenwende Tertiär/Quartär ein spontaner Umschwung im Mechanismus der magmatischen Vorgänge<sup>4)</sup>.

<sup>3)</sup> Gewisse Rekurrenzen werden stellenweise in den Tuffen angegeben; z. B. Auftreten von Basalttuff im Rheinischen Trachyttuff, Wechsel von saueren und basischen Tuffen im Untereocän Dänemarks, Tephrittuff auf Basalttuff folgend in Böhmen.

Besonders auffallend sind Einschlüsse von basischen Gesteinen in den saueren Tuffen, die denen gleichen, welche erst später den Tuff durchbrochen haben. Ebensolehe Einschlüsse können die Fließgesteine beherbergen, so daß oft die auf Grund der Einschlüsse aufgestellte Förderfolge derjenigen widerspricht, welche auf Grund der Durchbrechungen gewonnen wurde. —

Unklar ist bisher die Stellung der Doleritsills geblieben, die jünger als die Alkaligranite der Insel Mull sind.

<sup>4)</sup> Eine gewisse Entwicklung der verschiedenen Magmencyklen im Lauf der Erdgeschichte spricht gegen eine kosmische Ursache dieser Revolution und gegen eine Einwirkung von außen her.

Waren im Vorquartär, also bei den Altvulkanen, vulkanische Herde im heutigen Sinne nicht vorhanden und drang das Magma aus Tiefen von 60—70 km auf, so treten die ersten vulkanischen Herde beim Beginn der Diluvialzeit in geringen (5—8 km) Tiefen in Aktion. Ihnen entspringen die *Neuvulkane*, die sich gegenüber den alten Horizontalbauten durch einen oberflächlichen Aufschüttungskegel auszeichnen und normalerweise gerade die umgekehrte Förderfolge wie die Altvulkane zeigen. Die Entstehung der neuvulkanischen Herde fällt zeitlich und daher wohl auch ursächlich mit dem erstmaligen Einbruch der Tiefseegebiete und mit dem erstmaligen Aufsteigen der Hochgebirge zusammen. In dieselbe Zeit des allgemeinen Umschwungs fällt der Beginn der Eiszeit.

Für die Geophysik ergibt sich weiterhin, daß der bisher allgemein übliche Vorstellungskreis von den Beziehungen der Geosynklinale und Gebirgsbildung zum Magma eine grundlegende Änderung erfahren muß. Für die Erdgeschichte bedeutsam ist die Tatsache, daß viele Zeiten, in denen bisher auf Grund der Gesteine eine vulkanische Tätigkeit angenommen wurde, einer solchen entbehren, da diese Gesteine (Tuffoide und Intrusionen) erst nachträglich in diese Formationen eingedrungen sind.

Für die Paläogeographie ergibt sich durch diese Infraintrusionen, d. h. durch solche, die ihre Tuffe unterfahren haben, die Möglichkeit, einstmals vorhandene Sedimentationsräume, und zwar zeitlich genau, zu rekonstruieren, obwohl alle diese Ablagerungen längst der Abtragung zum Opfer gefallen sind. Bei dieser Gelegenheit sei nochmals daran erinnert, daß die vulkanischen Intrusionen räumlich an den Verbreitungsbereich der Tuffe gebunden sind, die laut Eruptionsgesetz die Repräsentanten einer Senkungs- und Sedimentationsphase darstellen.

Besonders wertvoll scheinen mir aber die Folgen der Erkenntnisse für die Tektonik zu sein, ein Gebiet der Geologie, das trotz seiner fundamentalen Wichtigkeit bisher einer klaren und einheitlichen Deutung getrotzt hat. Sind schon im Eruptionsgesetz selbst wichtige tektonische Vorgänge verankert, so können wir die Intrusionen vulkanischer und plutonischer Schmelzen dazu be-

nutzen, die jeweilige tektonische Situation des Gebirges zu ermitteln. Die Intrusionen stellen sozusagen eine Momentphotographie der Tektonik zur Zeit der Injektionen dar. Dadurch gelingt es, auch über der Erosionsbasis die Einzelstadien der Tektogenese festzustellen und in eine mechanisch sinnvolle Entwicklungsreihe zu bringen, die sich in großen Cyklen wiederholt. Schon jetzt ist es klar, daß der magmatische Cyklus und der tektonische Cyklus parallel verlaufen und daß die Unterschiede in der tektonischen Zyklusbildung lediglich „Fazieserscheinungen“ darstellen, welche bei jeweils gleichem Kräfteansatz durch den verschiedenen Grad der Mobilität und der Konsolidation des Fundaments bedingt sind. Der Ablauf eines jeden tektonischen Zyklus ist also grundsätzlich der gleiche, der Effekt je nach der Erbanlage verschieden, aber wiederum in allen Fällen derselben Erbanlage ähnlich.

So wie der Granit im magmatischen Cyklus seinen ganz bestimmten Platz hat, so wird jede Störungsart, Faltung, Überschiebung, Verwerfung, Dehnspalte und das daraus hervorgegangene Paraphor in einem ganz bestimmten Entwicklungsstadium der Tektogenese und nur in diesem fällig. War bisher die Ermittlung der tektonischen Bewegungen nur für die Zeiten der Senkung möglich, da hier die Sedimente als Kriterium dienen, so erlauben die Injektionen nun auch die Rekonstruktion der Tektogenese zur Zeit der Heraushebung und der Lage über der Erosionsbasis.

Schon jetzt lassen sich etwa 6 Hauptstadien der Tektogenese im magmatisch-tektonischen Cyklus erkennen:

#### 6. Postplutonische End-Hebung:

Abtragung des Dachsediments und Freilegung der Plutonkörper.

#### 5. Postplutonisches Stadium:

Nachfaltung, Überschiebungen II und Mylonitbildung II.

#### 4. Plutonisches Stadium mit basischer, intermediärer, saurerer Plutonphase, plutonischer Gangphase und mit Bildungen des Pseudovulkanismus:

Intraplutonische Faltung, Paraphorenentwicklung aus Dehnspalten; Mylonitbildung I.

3. **Vulkanintrusives Stadium** (Lavanstadium) <sup>5)</sup> mit saurer, intermediärer, basischer Phase und Gangphase:

Horizontale Dehnung, Bildung vertikaler Dehnspalten, Schmelzaufstieg und horizontale Vulkanintrusionen quer durch Vorfalten oder Bruchschollen.

2. **Prälavane Tektogenese** <sup>6)</sup> (Posttuffische Störungsphase):

Bei mobilem Untergrund: Vorfaltung, eventuell Überschiebungen und Schuppentektonik.

Bei konsolidiertem Untergrund: Bruchfaltung.

1. **Geosynklinale Stadium**:

Säkulare Absenkungen mit Sedimentationen und tuffliefernde Explosionen im Wechsel mit Hebungen, bei konsolidiertem Untergrund im Wechsel mit Bruchschollenbildung.

Die vorstehende Aufstellung der tektonischen Stadien soll lediglich die Forschungsrichtung andeuten und ist zunächst nur als Arbeitsprogramm zu bewerten. Einzelne Stadien könnten schon heute bedeutend spezifiziert werden, während andere erst noch einer exakten Nachprüfung bedürfen. Vor allem ist eine kritische Betrachtung dort angebracht, wo sich heute zwei oder mehrere Zyklen räumlich vertikal überschneiden. In die Stadien des Tektonisch-magmatischen Zyklus dürfen natürlich nur solche tektonischen Bewegungen aufgenommen werden, die sich in ein- und demselben

<sup>5)</sup> Zu unterscheiden sind einphasige und zweiphasige Vulkancyklen. Bei den ersten gibt es nur relativ saure Tuffe, während die gesamten Intrusionen Sauer-Basisch in einem Guß am Ende des Vulkancyklus erfolgen. Bei dem zweiphasigen Zyklus spielt sich die Tuff-Förderung und die Vulkanintrusion in zwei Phasen ab: Saure Tuffe — Saure Intrusionen, dann Basische Tuffe — Basische Intrusionen. Die Existenz echter basischer Tuffe spricht also immer für einen zweiphasigen Vulkancyklus.

<sup>6)</sup> Die horizontale Ausbreitung der Intrusivschmelze in den durch die prälavane Tektogenese vorgefalteten oder schollenverstellten Schichten hat zur Folge, daß die vulkanischen Intrusivkörper Formationen ganz verschiedenen Alters eingeschaltet sind. Indem wir die Tuffe desselben Vulkancyklus als Bezugszone annehmen, sprechen wir von Supra-, Medial- und Infra-Intrusionen, je nachdem der Intrusivkörper über, in oder unter der Tuffzone liegt. Die „Vertikale Streuung“ der Intrusivkörper im räumlichen Profil entspricht also der Bedeutung der prälavanen Tektogenese.

Cyklus vollzogen haben, nicht aber Störungen, die bereits in einem älteren Cyklus vor sich gegangen sind. Wenn wir beispielsweise feststellen, daß vulkanische Intrusionen Überschiebungsflächen als Bahn benutzt haben, wie dies z. B. mancherorts vom postkulkmischen Deckdiabas berichtet wird, so kann diese Überschiebung nicht dem Stadium der prälavanen Orogenese eingereicht werden, wenn die nähere Untersuchung ergibt, daß die Überschiebung bereits in einem vorangehenden Cyklus stattgefunden hat.

In diesem Sinne ist auch die „Vertikale Streuung“, d. h. das Auftreten der Intrusivkörper in verschiedenartigen Schichten, zu bewerten. Die Vertikale Streuung ist also nicht nur auf das Konto der prälavanen Orogenese zu setzen, sondern auch von allen früheren tektonischen Störungen abhängig, wenn in älteren Cyklen gestörte Gebirgsstücke durch die posttuffisch-prälavane Orogenese in den Bereich des Intrusivspiegels gebracht wurden. Die erwähnte Überschiebung kann also im postplutonischen Stadium des vorangegangenen Cyklus entstanden sein.

Aber auch innerhalb des Cyklus selbst sind Studien erforderlich, welche z. B. festzustellen haben, wieweit die Faltung bereits gediehen war, als die Intrusion erfolgte, ob also die Intrusivschmelze in den fertigen Schuppenbau intrudierte oder in ein Vorstadium desselben, so daß die Intrusivkörper selbst noch von der Verschuppung ergriffen wurden, oder sich diese wiederholt hat.

Bei der Ermittlung der Stadien wird der Vergleich verschiedenaltiger Cyklen weiterhelfen. Natürlich lassen sich nur solche Cyklen untereinander vergleichen, welche nach Baustoff und Konsolidierungsgrad einander ähnlich sind.

Daß, abgesehen von den Folgen für die Geophysik, Tektonik, Stratigraphie und Paläogeographie die Eingliederung der lagerstättenbildenden Vorgänge in den tektonisch-magmatischen Ablauf sowie die Vorstellung der Neuherdbildung bei den diluvialen und rezenten Vulkanen für die Praxis nutzbare Richtlinien ergeben, sei hier nur angedeutet.

Vielleicht tritt die Bedeutung unserer neuen Gesichtspunkte gegenüber den bisherigen Vorstellungen klarer in Erscheinung, wenn wir sie zur Aufdeckung der Fehlerquellen be-

nutzen, welche bis heute das Erkennen der wahren Sachlage verhindert haben:

1. Die irrige Annahme von Oberflächenergüssen anstatt von Intrusionen führte:
  - a) zu einer falschen Datierung der Vulkanite nach dem Wirtsediment und zur Annahme von Vulkaneruptionen in Zeiten der Ruhe;
  - b) zu einer Aufstellung der materiellen Förderfolge, die den gegenseitigen Durchbrechungen widersprach und jede Gesetzmäßigkeit vermissen ließ;
  - c) zu einem Verkennen des zeitlichen Verhältnisses vom Vulkanismus zum Plutonismus, indem das Dachsediment der Vulkanintrusionen irrigerweise als postvulkanisch-präplutonisches Sediment gedeutet wurde;
  - d) zu einer willkürlichen Gruppierung der magmatischen Einzelstadien, indem z. B. Glieder eines zweiten Cyklus mit Gliedern des ersten zu einem System verbunden wurden u. dgl.
2. Die Deutung intrusiver Fließgesteine als Tuffe führte gleichfalls zur falschen Datierung der Vulkanite, zur Annahme von Vulkaneruptionen in ruhigen Zeiten. — Der bisherigen Ansicht, daß es zu allen Zeiten Vulkane gegeben habe, steht der episodische Charakter der vulkanischen Intrusionsphase gegenüber.
3. Die Deutung der Pseudovulkanite plutonischer Abkunft als Vulkanite führte zur irrigen Ableitung der Vulkane aus den „Tiefenherden“ des Plutonismus. Unter diesen irrigen Voraussetzungen sind einst die Plutonite als „Tiefengesteine“ bezeichnet und die Vulkanite als zugehörige Ergußgesteine aufgefaßt worden.
4. Das Verkennen der posttuffisch-prälavanen Tektogenese führte zu irrigen Vorstellungen über das Verhältnis von Wurfgestein (Tuff) und Fließgestein bzw. über die Beziehung von Magma und Gebirgsbildung (Geosynklinale und Eintauchtheorie).
5. Die Deutung von Intrusivkugeln, d. h. von der Intrusivmasse abgelösten Apophysenteilen als Gerölle oder als Auswürflinge hatte eine irrige Datierung des vulkanischen Vorgangs zur Folge;

z. B. Gabbro-„Gerölle“ statt Intrusivkörperchen im Devonkalk von Neurode, Porphyr-„Gerölle“ statt Intrusivkörperchen in den Kreuznacher Schichten des Oberrotliegenden usw., „Spilitgerölle“, „Diabastuffe“, „Spilittuffe“ u. dgl.

6. Die Ableitung der Vulkanit- und Plutonitgerölle in den Konglomeraten von benachbart zutage anstehenden Magmatiten statt von alten, z. T. okkulten Schwellen führte, ebenso wie die irri- ge Deutung der Infra-Intrusionen als submarine Ergüsse, zu einem Zu-alt-Datieren des Magmatismus.

So hat man auf Grund karbonischer Gr $\ddot{u}$ ngesteine, die als Infraintrusionen in die prävaristischen Sedimente eindrangen, in Böhmen eine algonkische, in den Sudeten eine kambrische Geosynklinale konstruiert. Ähnlich waren die postkulmischen Diabase und Spilite der Bretagne und der Insel Jersey als submarine Ergüsse des Algonkiums gedeutet worden. In der gleichen Weise ist man in den Alpen mit den Ophiolithen und in Südamerika (Chile) mit der Porphyritformation verfahren. An Stelle einer einzigen episodischen Intrusion quer durch die vorgefalteten Schichtglieder oder die Bruchschollen hat man also bisher durch mehrere Formationen fortsetzende Oberflächenergüsse angenommen, ein Vorgehen, das zu den unwahrscheinlichsten Annahmen führte. So hat man auf Grund irriger Gerölldatierung ein kaledonisches statt ein sudetisches Alter für den älteren Granit und ein sudetisches statt ein asturisches Alter für den jüngeren Granit der Sudeten und der deutschen Mittelgebirge angenommen.

Im einzelnen muß hier auf meine Erwiderung auf die bisherigen Kritiken und auf Arbeiten mit entgegengesetzten Resultaten der Autoren v. Wolff, Hummel, Stille, Gerth, Bernauer, Backlund, Scheumann, Bederke, Rittmann usw. verwiesen werden.

Meine Erkenntnisse, die in zahlreichen Aufsätzen und in den Arbeiten meiner Schüler zum Ausdruck kommen, sind bisher von der Fachwelt wenig verstanden und daher meist abgelehnt oder gänzlich ignoriert worden. Nach Lage der Dinge mußte allerdings damit gerechnet werden, daß man einer Lehre, welche „das bisherige Gedankengut umzustürzen droht“ keine Förderung zuteil

werden läßt. Meine Absicht, die gewonnenen Ergebnisse und das im Lauf der Jahrzehnte angesammelte, umfangreiche Material in einem größeren Werk zusammenzufassen, ist bisher teils durch das rasche Wachstum der Erkenntnisse, teils durch den gänzlichen Mangel an Hilfskräften und Hilfsmitteln verhindert worden. Es liegt aber auf der Hand, daß die Behandlung eines so umfangreichen, auf die verschiedensten Nachbargebiete übergreifenden Stoffes die Kraft eines Einzelnen übersteigt und nur durch den Beitrag entsprechend vorgebildeter Mitarbeiter bewältigt werden kann.