

Begriff und Bedeutung der Intrusionstektonik.

Von Franz Ed. Suess (Wien).

Vortrag in der Hauptversammlung der Geologischen Vereinigung
am 9. Januar 1927 (ergänzt).

Die geologischen Aufnahmen im Grundgebirge der böhmischen Masse haben gelehrt, daß dort die von ausgedehnten Granitstöcken durchsetzten Gebiete auch in bezug auf die Metamorphose und Lagerung der Gesteine besondere Merkmale zeigen und wohl unterschieden sind von den kristallinen Gebieten der eigentlichen Faltengebirge. Für diese Art des Baues wurde die Bezeichnung „Intrusionstektonik“ vorgeschlagen. Im Tiefenbilde der Intrusionstektonik, wie es sich in der moldanubischen Scholle der böhmischen Masse darstellt, sind dreierlei Merkmale miteinander vereinigt und zwar: 1. das Vorherrschen der granitischen Batholiten in der Flächenausdehnung, 2. durchaus posttektonische Kristallisation mit katogenem Mineralbestande in den begleitenden kristallinen Schiefen, 3. ein Verlauf der Gesteinszüge, der sich im wesentlichen abhängig erweist von den Umrissen der Batholithen und nicht anhaltenden Leitlinien folgt, wie sie durch tangentialen Schub erzeugt werden. Das Eindringen der Granitstöcke ist der letzte gestaltende Vorgang gewesen und hat zugleich mit der Metamorphose die Umstellung eines älteren Bauplanes bewirkt.

Die Intrusionstektonik bedeutet nicht zugleich Tiefentektonik; denn die Granitstöcke sind dort in das mittelböhmische Paläozoikum, d. h. in ein verhältnismäßig seichtes Faltengebirge eingedrungen.

Innerhalb der variszischen Horste gehören zum Gebiete der Intrusionstektonik: die moldanubische Scholle des südböhmischen Grundgebirges, der Schwarzwald, die Vogesen, der südliche Odenwald und der größte Teil des französischen Zentralplateaus.

Die kristallinen Gebiete der Alpen enthalten nichts, das der Zone der Intrusionstektonik vergleichbar wäre. Die Charaktere dieser Zone sind ganz anderer Art als die der metamorphen Zonen in den sogenannten Orogenen mit alpinem Deckenbau und alpiner Metamorphose. Sie überwältigen flächenweise größere Gebiete außerhalb der sogenannten Orogene, und auch die Zone der Intrusionstektonik der variszischen Horste nimmt einen viel breiteren Raum ein als etwa die alpine Faltenzone.

Die variszische Scholle der Intrusionstektonik ist passiv über den metamorphen Deckenbau des sächsischen Erzgebirges hinbewegt worden. Weit vorgeschobene, von der Hauptmasse losgetrennte Ausleger sind: die Münchberger Gneissmasse und die Gneise und Schiefer des Frankenberg-Hainichen Zwischengebirges.

Der Vergleich mit der kristallinen Unterlage der Austriden in den Alpen liegt nahe, und die Münchberger Gneissmasse mag sich zu der moldanubischen Scholle etwa ähnlich verhalten wie die Silvretta zu dem Grund-

gebirge im Untergrunde der Dinariden. Auch im Gebiete der Dinariden sind granitische Intrusionen in einen verhältnismäßig seichten Faltenbau emporgedrungen; so der Tonalit des Adamello in das nicht metamorphe Mesozoikum der Bergamasker Alpen. Auch hier sind die Granite von ungleichem Alter, so wie in der moldanubischen Scholle; die jüngsten unter ihnen queren posttektonisch die Überschiebungsgrenze und greifen über auf das Gebiet der überschobenen Deckfalten. In dieser Hinsicht kann man die Granite des oberen Veltin und des Julier mit den Graniten des Erzgebirges vergleichen, die aus der moldanubischen Scholle in den Deckfaltenbau des Freiberger Gneisgebietes eingedrungen sind. Es ist anzunehmen, daß die Granite im tieferen Untergrunde der Dinariden größere Ausbreitung gewinnen und daß auch dort eine weiter hinabreichende Bloßlegung ein der variszischen Intrusionstektonik ähnliches Strukturbild darbieten würde. Die anscheinend aus dem Untergrunde der großen Deckscholle in den überschobenen Faltenbau vordringenden Intrusionen gelangen aber in keinem Falle bis an die Vortiefe. Sie fehlen ebenso in der helvetischen Zone und im Flysch der Alpen, wie im karbonischen Außensaume des variszischen Gebirges.

Auch andere Kontinentalrandgebirge bestehen in ihrer Grundanlage aus einer überwältigten Zone von faltbaren marinen Sedimenten und einer erzeugenden Scholle, der die Intrusionen entquellen.

Wie man der knappen Synthese von STEINMANN entnehmen kann, entspricht die Gliederung Südamerikas in die brasilianische Tafel und in den Randwulst der Kordilleren nicht dem eigentlichen tektonischen Großgefüge. Die durchlaufende Stufe zwischen Gebirge und Tafelland ist keine tektonische Grenze ersten Ranges. Eine Hauptfuge, an der sich zwei tektonische Einheiten von kontinentaler Bedeutung berühren, liegt mitten im Gebirge selbst, zwischen den Kämmen und folgt gleichlaufend ihren Windungen. Es ist dies die Grenze zwischen den Hauptanden und den Brasilianen; d. i. der der Hauptkordillere im Osten unmittelbar angeschlossenen Vorkordillere mit den sog. pampinen Sierran. Die Vorkordillere zieht durch den geschlossenen Block der bolivianischen Hochanden zur Hochfläche der Puna von Atacama. Trotz ihrer bedeutenden Höhe zeigt sie die Schichtfolge der brasilianischen Tafel und unterscheidet sich von den Hauptanden durch die spärliche Entwicklung der mesozoischen Sedimente. Ihre andinen Merkmale sind: die jugendliche Aufrichtung und der Reichtum an tertiären Ergußgesteinen.

In mancher Hinsicht unterscheidet sich das andine Faltenystem von dem der Alpen; vor allem durch die Verschiebung der gefalteten Schichtmassen in das jüngere und jüngste Mesozoikum, in dem Fehlen einer großzügigen Deckenfolge, die den Verfaltungen der Penniden mit den Austriden vergleichbar wäre, und in dem beherrschenden Eingreifen der syntektonischen und posttektonischen Intrusionen in den Gebirgsbau. Dennoch beherrscht beide Gebirge das gleiche Gestaltungsgesetz; nämlich der Aufstau einer mächtigen faltbaren Schichtfolge durch den Anschub einer Scholle von kontinentalem Umfange. In diesem Sinne gleicht Brasilien mit den Brasilianen dem afrikanischen Kontinente mit den Dinariden. In beiden Fällen unterscheidet sich die Schichtfolge der Faltenzone nicht von der des Vorlandes. Die Brasilianen sind selbst ein hochgepreßtes und rückgefaltetes Stück der Tafel. Mit den sog. pampinen Sierran und den Höhenzügen der Provinz Buenos Aires klingt die Faltung aus gegen das Vorland, das mit Bezug auf die Verhältnisse im Großen besser als Rückland zu bezeichnen ist.

In den Alpen ist eine die Hauptüberschiebung begleitende Intrusionszone durch die sog. periadriatischen Massen nach SALOMON angezeigt. In den Anden erscheint an ihrer Stelle die fast durchaus zusammenhängende und streckenweise verdoppelte Zone der Granodiorite. Hier ist das Magma an

einer größeren zusammenhängenden Narbe emporgestiegen, der auch die jüngsten reichlichen Ergüsse entstammen.

Die eigentliche Heimat der Intrusionen sind die Brasilianden. Zu den letzten Nachschüben gehören einzelne Lakkolithen, so der in der Provinz Raja im SO der Puna, den RASSMUS beschrieben hat. Die Analogie wird noch vervollständigt werden, wenn sich die Ansicht vieler Forscher bestätigt, daß in den gleichartigen Andengesteinen, sowie auch in den periadriatischen Massen, Intrusionen von verschiedenem Alter enthalten sind (siehe GERTH, Geol. Rundschau 1922, S. 332). STEINMANN vergleicht diese Gesteine wegen ihrer Neigung zur porphyrischen Struktur mit den variszischen Graniten des Fichtelgebirges, des Schwarzwaldes und der Vogesen und mit manchen zentralalpinen Graniten.

Die Brasilianden sind nach der Intrusion der Batholithen von keiner tiefgreifenden Faltung mehr überwältigt worden. Der Heranschub der brasilianischen Masse, ihr randlicher Aufstau zur Vorkordillere, ihr Rückstau in den pampinen Sierras, die Aufschürfung der Sedimente eines überwältigten Schelfmeeres zur Hauptkordillere und die Auspressung des eruptiven Magmas unter der bewegten Scholle sind Teilvorgänge eines größeren tektonischen Geschehens. Man kann leicht verstehen, daß die jungen Vulkane gerade in der Hauptfaltungszone fehlen, und daß die stärkste Faltung nicht in den höchsten Teilen des Gebirges zu finden ist. Der Westrand des Gebirges ist von dem der erzeugenden Scholle entquellenden Magma nicht erreicht worden.

Die Beschreibung der Puna von Atacama durch WALTER PENCK kommt dieser Auffassung entgegen. Die Faltung greift, wie er sagte, nach Osten über die sog. Geosynklinale hinaus und pflanzt sich ausschwingend in die Tafel fort. Der Stau der gesamten Tafel durch den Druck nach Westen stellt sich als Hebung des ganzen Punarumpfes oder als Großfaltung dar. Die Hebung entlastet den Druck auf das Magma, das ihr nachfolgt. Was entsteht, macht den Eindruck einer magmatischen Hebung.

Der jugendliche Aufstau ist auch in vielen Zügen der morphologischen Gestaltung ausgedrückt. Die großen Flüsse der Anden entspringen jenseits der Vorkordillere und haben die hohe Kette in Durchbruchstätern zu durchqueren. Sie sind älter als der jüngste Stau der Scholle und haben ihre antezedenten Lauflinien behauptet. Die Auftürrung der Schollen durch den Rückstau nach Osten wird von den seit dem Tertiär andauernden enormen Schuttbildungen begleitet; die Basaltströme Patagoniens folgen nach BACKLUND einem älteren Gefälle und sind später schräg gestellt worden. Ebenso haben in den Dinariden nach vielen Anzeichen junge Vertikalbewegungen von bedeutenderem Ausmaße viel länger ange dauert als in den eigentlichen Alpen.

Weiter im Süden vom Rio Negro bis zum Feuerlande begleiten dünnflüssige Basalte aus Spalteneruptionen den Hang des Gebirges und erreichen in seiner unmittelbaren Nähe die größten Mächtigkeiten.

Dem Hauptkamme der patagonischen Kordillere ist im Osten eine lockere Reihe von granitischen Lakkolithen vorgelagert. Noch in dem losgelösten entlegeneren Bruchstücke der brasilianischen Tafel, auf dem Feuerlande, besteht die Gruppe der Darwinberge aus denselben Graniten. Sie sind in fast ungefaltete Schichten eingedrungen und grundsätzlich in gleicher Weise dem Gebirge angegliedert wie die mannigfachen Lakkolithen im Osten der Rocky Mountains. Zu ihnen gesellen sich vereinzelt Vorkommnisse von Alkaligesteinen, wie sie in Patagonien besonders durch QUENSEL bekannt geworden sind.

Zu augenscheinlich ist die Wiederholung der südamerikanischen Großtektonik in Nordamerika, als daß es notwendig wäre, sie hier näher zu erklären. Die Darstellung seines noch reicher ausgestatteten Bewegungsbildes soll späteren Ausführungen vorbehalten bleiben. Aber auch in anderen Kontinentalrandgebirgen gewahrt man dieselbe Beziehung zwischen Magma und Kordillere.

Die japanischen Inseln werden bekanntlich durch die Fudjizone in zwei ungleichartige Gebirgstücke geteilt. Süd-japan wird der Länge nach von einer wichtigen Störungslinie durchzogen, die in Nord-japan fehlt. Sie zieht nach Süd—Südwest, durch die Halbinsel Kii und durch die Insel Shikoku, quert auch noch die Insel Kiu-Shiu und bildet die Südgrenze des inneren Gneisgebietes, an die mit gleichlaufendem Streichen die gefaltete Sedimentärzone angeschlossen ist. Diese besteht aus einer Aufwölbung von alten Phylliten und Quarziten (Chichibuserie) mit eingefaltetem Fusulinenkalk, Mesozoikum, insbesondere einer reichen Stufenfolge von z. T. flyschartiger Kreide mit transgredierendem Senon, und aus älterem und jüngerem Tertiär. Die süd-japanische Mittellinie ist eine tiefgreifende Überschiebung. Auf dem Phyllit liegt die Scholle von höher metamorphem Biotitgneis.

Die Hauptmasse der granitischen Intrusionen liegt auch hier in der überschobenen Gneisscholle, und das nördlich anschließende Gebiet an der japanischen Binnensee besteht aus einem Fleckwerk von verschiedenen Erstarrungsgesteinen. Die jüngeren ausgedehnten Granitstöcke haben Trias und Kreide durchdrungen und kordierit- und staurolithführende kristallinische Gesteine wurden als kontaktmetamorphes Paläozoikum erkannt. In der ganzen Erstreckung durch Nord-japan bis Hokkaido sind den Graniten Quarzporphyre oder liparitische Ergüsse gefolgt. Die Magmaförderung seit der Tertiärzeit ist nur ein spärlicher Nachklang der tertiären Eruptionen.

Nach DALY entstand Tyo-goku, d. i. das Gebiet nördlich der Binnensee, durch das Niedersinken des vormesozoischen Blockes und seine Auflösung in der basaltischen Unterlage. Die silifizierten syntektischen Gesteine seien dann als Diorite, Granite und Liparite emporgestiegen. Einzelne verstreute Vorkommnisse von Bronzitbasalt seien als verspätete undifferenzierte Nachschübe aus der tiefgelegenen Magmazone aufzufassen. Ähnliches gilt für die Vorkommnisse von nachmiozänen Alkalisyeniten und verwandten Gesteinen auf den Inselgruppen Oki und Utsuri im japanischen Meere, Iki und Saishu in der Koreastraße, sowie in mehreren Gebieten in Nordkorea und in der mandchurischen Grenze. Auch sie sind an jüngeren Brüchen emporgestiegen.

Die große Verbreitung granitischer Massen und die begleitende Metamorphose junger, verhältnismäßig wenig gestörter Sedimente gestattet auch hier den Schluß auf eine tiefere Unterlage mit den Merkmalen der Intrusionstektonik. Das Gebiet der variszischen Überschiebungen im Erzgebirge und in den Sudeten mag im Perm, d. i. zur Zeit der porphyrischen Ergüsse, ein ähnliches Bild dargeboten haben wie Japan zur Tertiärzeit.

Der granitdurchtränkte Block von Tyu-goku wurde an der süd-japanischen Mittellinie gegen die äußere Faltungszone vorgeschoben, so wie der moldanubische Block über die erzgebirgischen Falten und der Block der Dinariden über die Penniden. Er ist später zerbrochen und der Boden des japanischen Meeres ist die Oberfläche der zu ungleicher Tiefe abgesunkenen Schollen.

Das Dachbild der Intrusionstektonik verrät sich noch in vielen Granitaufrüchen der weiten Gebiete im Inneren des Sunda-Archipels und in den Philippinen. Allenthalben sind hier die jungen Granite in den wenig tiefgreifenden und ziemlich unregelmäßigen Faltenbau eingedrungen. Auf den Philippinen gehören die ältesten, durch Fossilien sichergestellten Sedimente in das Alttertiär. Granite stecken auch in fossilereen Radiolariten ähnlich denen von Borneo und ein großer Teil der metamorphen Gesteine in Süd-Luzon, West-Mindanao und Palawan gilt als Tertiär. Was über das malayische Schelfmeer zwischen Borneo, Malakka, dem östlichen Sumatra und dem nördlichen Java unter mächtigen, ziemlich gleichartigen sedimentären Schichtfolgen nächst auftaucht, sind wieder allenthalben Granite. Die jüngeren Intrusionen haben zum mindesten noch Trias- und Juraschichten erreicht und die Radiolarite und Hornsteine der Danauf ormation im Kontakt verändert. Ein großer

Teil des vermuteten alten Grundgebirges dieser Gebiete gehört gewiß zu den jüngeren Kontaktgesteinen. Was eine spätmesozoische oder frühtertiäre Gebirgsbildung hier geleistet hat, bezeugt allein schon die Verbreitung der Danauformation in Höhen über 1000 m S.-H. Trotz der verwickelteren Strukturen und dichter gedrängten Falten am Nordende von Borneo, am Kinibalugebirge, handelt es sich hier nicht um ein eigentliches Orogen, sondern vielmehr um Schollenbewegungen von großem Ausmaße. Die Strukturlinien laufen vom Norden der Insel gegen Süden auseinander. In der Mitte der Insel, am Randbruche des Kapoevasgebirges, haben jüngere Lavadurchbrüche das Müllergebirge aufgebaut. Aber die tätigen Vulkane des Sundabogens liegen wieder am äußeren Rande der granitdurchtränkten Scholle und die Vortiefe bleibt wieder frei von Vulkanen.

Die herrschenden Intrusionen in den erwähnten Gebieten sind durchwegs pazifisches, d. i. wie man annehmen darf, syntektisches Magma. Es durchdringt, im Großen flächenweise, im Einzelnen verästelt, den Untergrund der Kontinentalschollen, der damit in die Zone der Katametamorphose gelangt. Seinen gegenwärtigen chemischen Charakter hat dieses Magma durch Anatexis erworben. Ein ursprünglich basaltisches Magma im Sinne von DALY hat die Basis der Kontinente angeätzt und wurde im Aufstiege zu sauren Batholithen differenziert. Wo der vorgeschobene Rand der Kontinentalscholle den Untergrund des Ozeans zum Faltengebirge aufgeschürft hat, staut sich die Scholle. Indem sie sich hebt, tritt Entlastung ein und die Intrusionen an ihrer Basis werden neu belebt. Das Magma wird gegen den Rand und darüber hinaus vorgetrieben.

Durch die Verteilung der gegenwärtigen Vulkane wird die Andauer dieses Vorganges angezeigt. Die heutigen Vulkankränze entsprechen nach ihrer Lage im Gebirgsbau den über den Rand der moldanubischen Scholle vorgeschobenen Granitstöcken und den porphyrischen Ergüssen im Erzgebirge. Das Tiefenbild der Intrusionstektonik erläutert uns den genetischen Zusammenhang zwischen den Vulkanzonen und den Kordilleren an der Oberfläche und macht es verständlich, daß gerade die Kammvulkane, wie die des Kaukasus oder die der Anden und die der asiatischen Inselketten, durchaus pazifisch sind.

Die Verhältnisse im variszischen Gebirge zeigen auch, daß die Intrusionen durch lange Zeit andauern können und daß sie bei der Verfrachtung der Scholle von ihrer Wurzel im tieferen Sal losgelöst und mitgeführt werden. Wenn der zum Kontinent gewendete und rückgefaltete Rand des Gebirges zurücksinkt und zerbricht, kann an Spalten das tiefergelegene Urmagma in Form von basaltischen Massenergüssen oder, bei langsamerem Aufstiege, in verschiedene atlantische Laven differenziert, die Oberfläche erreichen. So erklärt es sich, daß atlantische Gesteine in den beiden Amerika und auch in den Randgebieten Ostasiens nur in dem dem Kontinente zugewendeten Raume innerhalb der Kordilleren auftreten, und man kann es verstehen, daß in den Dinariden die letzten magmatischen Durchbrüche dem sonst seltenen monzonitischen Zwischentypus angehören. In diesem Falle hat vermutlich während des Durchbruches durch die noch nicht vollkommen erstarrte salische Scholle eine Mischung der beiden Magmentypen stattgefunden.

Wo am äußeren Saume der Gebirge Laven emporgepreßt wurden, sind es zumeist undifferenzierte, hochbasische Magmen mit atlantischen Anklängen, wie die in den Flyschzonen häufigen Teschenite, Pikrite u. a. Sie entstammen dem vor und außerhalb der Überschiebungsscholle gelegenen tieferen Untergrunde.

Die unsymmetrische Gesamtanlage, bedingt durch den Gegensatz zwischen dem aufgeschobenen und rückgefalteten Kontinentalrand auf der einen und den überfalteten Sedimentmassen auf der anderen Seite und besonders ausgedrückt in der Verbreitung der Eruptivgesteine, kennzeichnet ebenso die

Alpen wie den variszischen Bau, die Anden beider Amerika und alle asiatischen Randketten. Die Magmen entquellen dem Untergrunde der erzeugenden Scholle, die bei genügender Bloßlegung das Tiefenbild der Intrusionstektonik darbietet.

In diese Vorstellungen über die Beziehungen von Magma und Großtektonik fügt sich gut die gegenwärtige Verbreitung der beiden Magmasippen auf der Erde. Wiederholt wurde schon die Ansicht geäußert, daß das pazifische Magma im allgemeinen unter den Kontinentalschollen ausgebreitet sei. Ihr folgt auch P. MARSHALL, wenn er die Grenze eines größeren Australien gegen Polynesien um jene Inselgruppen zieht, deren jungvulkanische Gesteine vorwiegend zu den Andesiten gehören. Diese Linie umfaßt, außer Neuseeland, die Tonga- und die Kermadec-Gruppe, die Fidschi-Inseln, die Neu-Hebriden und die Banks-Inseln, umschließt, nach Norden ausbiegend, die Sta. Cruz-Inseln und streicht durch die Salomons-Inseln nach Neu-Mecklenburg. Innerhalb dieser Linie liegen auch die sichergestellten Vorkommnisse von kontinentalen Gesteinen.

Unsere Beobachtung ist vor allem auf die Kontinentalgebiete angewiesen und da kommen bei genügender Bloßlegung allenthalben ältere und jüngere granitische Batholithe zum Vorschein. Auf der ungleichen Verteilung im Raume beruht der täuschende Eindruck, daß die atlantischen Magmen gegenüber den pazifischen erst in geologisch junger Zeit größere Verbreitung gewonnen hätten.

Eine ausführlichere Darstellung dieser Gedanken wird vorbereitet.

Literatur.

1. H. G. BACKLUND, Der magmatische Anteil der Cordillera von Süd-Mendoza. Meddelanden Åbo Akademi geol.-min. Inst., Nr. 3, 1923.
2. — —, Magmatic activity and mountain folding in the Andes of South Mendoza. Geol. Magazin, Vol. LXIII, 1926, S. 419.
3. H. A. BROUWER and L. M. GOULD, The geology of the Netherlands East Indies. New York 1925.
4. R. A. DALY, Proc. Americ. Phil. Soc. 64, 1925, S. 283.
5. E. GERTH, Die Bedeutung der geologischen Erforschung des Südrandes der Puna de Atacama für die Geschichte der Anden und der Gebirgsbildung im allgemeinen. Geol. Rundschau, Bd. XII, 1922, S. 320.
6. — —, Orogenese und Magma in der argentinischen Kordillere. STEINMANN-Festschrift, Geol. Rundschau, Bd. XVIIa, 1926, S. 62.
7. P. MARSHALL, Oceania. Handbuch der region. Geol., Heidelberg 1911.
8. W. PENCK, Der Südrand der Puna de Atacama. Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. Sächs. Akad. d. Wiss., Bd. 37, Nr. 1, 1920.
9. — —, Hauptzüge im Bau des Südrandes der Puna de Atacama. Neues Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. XXXVIII, 1914, S. 634.
10. P. QUENSEL, Geologisch-petrographische Studien in der patagonischen Cordillera. Bull. Geol. Inst. Upsala 12, 1910, S. 129.
11. D. SMITH WARREN, The geologic structure of the Philippine Archipelago. Verbeek-Gedenboek, Verh. geol. mijnbouwkundig Genootschap vor Nederland en Kolonien, geol. Ser., Deel VIII, s'Gravenhage 1925, S. 461.
12. G. STEINMANN, Gebirgsbildung und Massengesteine in der Kordillere Südamerikas. Geol. Rundschau, Bd. I, 1910, S. 13.
13. — —, Umfang, Beziehungen und Besonderheiten der andinen Geosynklinale. Ebenda, Bd. XIV, 1923, S. 69.
14. F. E. SUESS, Intrusionstektonik und Wandertektonik im variszischen Grundgebirge. Berlin, Gebr. Borntraeger, 1926.