

II. Besprechungen.

A. Unter der Redaktion der Geologischen Vereinigung.

Kryptovulkanische oder Injektionsbeben.

Von **Rudolf Hoernes** (Graz).

Literatur.

1. SUESS, E.: Das Antlitz der Erde. II. 9. Abschnitt: Der Serapis-Tempel bei Puzzuoli. S. 463—499
2. HÖRNES, R.: Erdbebenkunde. S. 253.
3. SUEES, F. E.: Bau und Bild der böhmischen Masse. S. 200.
4. HILBER, V.: Basaltlakkolith bei Weitendorf, Steiermark. Zentralbl. f. Min. Geol. und Pal. 1905. S. 207.
5. DREGER, J.: Alter des Weitendorfer Basaltes. Verh. d. k. k. geolog. Reichsanst. Wien. 1902. S. 218.
6. LEITMEIER, H.: Der Basalt von Weitendorf in Steiermark und die Mineralien seiner Hohlräume. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. Beilage Band XXVII. 1909. S. 219.
7. OHNESORGE: Referat über die unter 6 angeführte Arbeit LEITMEIERS in Verh. d. geolog. Reichsanst. Wien. 1909. S. 178.
8. LEITMEIER, H.: Zur Altersfrage des Basaltes von Weitendorf in Steiermark. Mitteil. d. naturw. Ver. f. Steierrn. Bd. 46. Jahrg. 1909. S. 335.
9. REYER, E.: Geologische und geographische Experimente. II. Heft. Vulkanische u. Masseneruptionen. Leipzig 1892.
10. FRECH, F.: Erdbeben und Gebirgsbau. PETERMANN'S Mitteilungen. Bd. 53. 1907. S. 245—260.
11. BÖSE, E.: Die Erdbeben, aus „Die Natur, e. Samml. naturw. Monographien, herausg. v. W. SCHÖNICHEN. S. 18—20.
12. BENNDORF, H.: Über die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern. Mitteil. d. Geol. Ges. Wien. III. 1908. S. 323—342.
13. TRABERT, W.: Die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in verschiedenen Tiefen. Mitteil. d. Erdbeben Komm. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Neue Folge. No. XXXVII. 1909.
14. BENNDORF, H.: Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern. II. Mitteil. d. Erdbeben Komm. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Neue Folge. No. XXXI. 1906. S. 38—40.
15. GERLAND, G.: Über den heutigen Stand der Erdbebenforschung. Vortrag, geh. am XII. deutschen Geographentag in Jena 1897.
16. — Das seismische Verhalten des atlantischen und des pazifischen Ozeans. Comptes rendus. IX. Congr. intern. de Géographie, Genève 1908. II. 1910. S. 220—234.

17. RUDOLPH, E.: Über submarine Erdbeben und Eruptionen. GERLANDS Beiträge zur Geophysik. I, II, III, 1887, 1895, 1898.
18. — Die Beziehungen zwischen den tektonischen und seismischen Verhältnissen Ostasiens. Comp. rend. IX. Congr. internat. de Géographie. Genève 1908. II. 1910. S. 201—219.
19. HÖRNES, R.: Der Einbruch von Salzburg und die Ausdehnung des interglazialen Salzburger Sees. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Bd. 117. 1908.
20. BRANCA, W.: Wirkungen und Ursachen der Erdbeben. Rede am Geburtstage S. M. d. Kaisers und Königs Wilhelm II. a. 27. Januar 1902. Berlin 1902.
21. JOHNSTON-LAVIS, H. J.: Monograph of the Earthquakes of Ischia. London-Naples 1895.
22. BRANCA, W.: Vulkane und Spalten. Verh. d. intern. Geol. Kongr. Mexiko 1907. S. 985.
23. SUESS, E.: Das Antlitz der Erde. III. 25 Kapitel. Hervortreten und Anordnung der Vulkane. S. 655.
24. STÜBEL, A.: Über das Wesen des Vulkanismus. S. A. aus „Die Vulkanberge von Ecuador“. Berlin 1897. S. 2 u. 3.
25. HOERNES, R.: Referat über A. STÜBEL „Die Vulkanberge von Columbia“. Literarisches Zentralblatt. 1909. S. 497—500.
26. BECKE, F.: Die Eruptivgebiete des böhmischen Mittelgebirges und der amerikanischen Anden. Atlantische und pazifische Sippe der Eruptivgesteine. Mineralog. u. petrograph. Mitteil. XXII. 1903. S. 209.
27. BERGEAT, A.: Betrachtungen über die stoffliche Inhomogenität des Magmas im Erdinnern. Mitt. d. geograph. Ges. i. Münster. III. 1908. 3. Heft.
28. GEIKIE, A.: Anc. Vulc. of Gr. Britain. 1897. II. S. 147. u. f. (zitiert nach E. SUESS.)
29. SUESS, E.: Antlitz der Erde. I. 218.
30. — Antlitz der Erde. III. S. 633.
31. ROGERS and DU TOIT: Geol. Surv. of parts of Ceres etc. Geol. Comm. Cape of G. HOPE, Ann. Rep. (1903) 1904. IX. S. 17. (zitiert nach E. SUESS.)
32. DILLER und NEWSOM: Bull. soc. Amer. I. S. 441 und XIV. S. 227. 1903. (zitiert nach E. KAYSER, der auch auf CHAMBERLIN, Geology I. S. 513 verweist).
33. KAYSER, E.: Lehrbuch der allgemeinen Geologie. 3. Aufl. 1909. S. 161.
34. DALY, R. A.: Classif. of Igneous Intrusive Bodies. Amer. Journ. Geol. 1905. XIII. S. 485—508. insb. S. 493. (zitiert nach E. SUESS).
35. REYER, E.: Theoretische Geologie, Stuttgart. 1888. S. 523.
36. — Geologische Prinzipienfragen. Leipzig. 1907. S. 95.
37. KAYSER: a. o. a. O. S. 788.
38. HOBBS, W. H.: Erdbeben, erweiterte Ausgabe in deutscher Übersetzung von J. RUSKA, Leipzig 1910. S. 28. u. f. Tafel V.
39. PILAR, G., Grundzüge der Abyssodynamik. Agram 1881. S. 116 u. f.
40. CREDNER, H.: Die sächsischen Erdbeben während der Jahre 1889 bis 1897. Abhandl. d. Mat. phys. Kl. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. XXIV. Bd. 1898. No. IV. S. 396 u. 397.
41. MILNE, J.: Recent Advances in Seismology (Bakerian Lecture) Proceedings of the Royal Society. A. 1906. Vol. LXXVII. S. 370—373. (zitiert nach W. H. HOBBS.)
42. HOBBS, W. H.: a. o. a. O. S. 33—35.
43. CANCANI, A.: Zur Hypothese über eine Wechselbeziehung zwischen den Variationen geographischer Breiten und der Bebenhäufigkeit. Die Erdbebenwarte. III. Laibach. 1903. S. 49—56.
44. HOERNES, R.: Ältere und neuere Ansichten über Verlegungen der Erdachse. Mitteil. d. Geol. Ges. in Wien. I. 1908. S. 159—200.
45. TAMANN, G.: Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig. 1903.

46. FLEISCHER, A.: Untersuchungen zum Beweise der Ausdehnung des Basalts beim langsamen Erstarren. Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Gesellsch. 59. Bd. 1907. Mitteil. S. 122.
47. DOELTER, C.: Über die Frage der Ausdehnung der Silikate beim Erstarren. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 59. Bd. 1907. Mitt. S. 217.
48. WOLFF, F. v.: Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 60. Bd. 1908. S. 431—465.
49. DOELTER, Petrogenesis, Braunschweig. 1906. S. 137.
50. SUESS, F. E.: Eine Bemerkung über die Einwirkung des Erdbebens von Lissabon auf die Thermalquellen von Teplitz. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsak. Wien. 1900. S. 55—63.
51. HOERNES, R.: Erdbebenstudien. Jahrbuch d. k. k. geol. R.-Anst. 28. Bd. 1878. S. 387—448.
52. ROTHPLETZ, A.: Über die Ursachen des Kalifornischen Erdbebens von 1906. Sitzungsber. d. k. bayerischen Akad. d. Wiss. Jahrg. 1910.
53. GRIESBACH, C. L.: Die Erdbeben in den Jahren 1867 und 1868. Mitteilungen d. k. k. geogr. Gesellsch. Wien. 1869.
54. REPORT of the California State Earthquake-Investigation-Commission. Vol. I. 1908. (Carnegie Institution, Washington. Pub. 87. Vol. I) S. 114—145.
55. — of the California St. Earthq. Invest. Comm. S. 149.
56. OMORI, F.: Preliminary Note on the Cause of the San Francisco-Earthquake of April 18. 1906. Bull. Earthqu.-Invest.-Comm. Tokyo. 1907. S. 7—25.
57. REID, H. E.: The California Earthquake of April 18. 1906. The mechanics of the Earthquake. Vol. II des „Report of the California State Earthquake-Investigation-Commission“. (Carnegie Institution of Washington, Publication 87. Vol. II.)
58. KOTÔ, B.: On the Cause of the great Earthquake in Central Japan. 1891 Journ. Coll. Science. Imp. Univ. Japan. Vol. V. p. IV. 1893.
59. RUDZKI, M. P.: Physik der Erde, Leipzig. 1911. S. 179.
60. — Über die Tiefe des Herdes etc. Bull. Acad. des Sciences. Cracovie 1907. S. 40—44.
61. MOHOROVIĆ, A.: Das Beben vom 8. X. 1909. Jahrbuch des Meteorologischen Observatoriums in Zagreb (Agram) f. d. Jahr 1909. Agram. 1910.

Vor längerer Zeit, in meiner 1893 veröffentlichten „Erdbebenkunde“, erörterte ich die Schwierigkeit, in manchen Gebieten tektonische und vulkanische Beben scharf auseinander zu halten. Ich besprach bei der Erörterung der letzteren die seismischen Erscheinungen, welche dem Ausbruch vorangingen, der 1538 in wenigen Tagen den Monte nuovo in den phlegräischen Feldern entstehen liess, den Darstellungen folgend, welche EDUARD SUESS im zweiten Bande seines Werkes, „Das Antlitz der Erde“, von jenen Ereignissen gab (1) und kam auch auf die von SUESS daselbst besprochenen Änderungen der Strandlinie zurück, welche bei dem Ausbruch des Vesuvs 1861 in der Umgebung von Torre del Greco zu beobachten waren. Die in letzterem Falle zuerst eingetretene negative Bewegung des Strandes, der positive Rekurrenz folgte, suchte ich durch Injektion von Magma zu erklären, welches infolge der Spannkraft der in ihm enthaltenen Liquida bei dem Empordringen in einer vulkanischen Esse radiale Sprünge aufreisst und in dieselben eindringt. „Solche Vorgänge“ —

schrieb ich damals — können recht wohl ein Anschwellen des Bodens verursachen, welches hauptsächlich auf das Dunsen der injizierten Lava zurückzuführen ist. Erreicht der Ausbruch sein Ende, so bildet sich ein Pfropf in der vulkanischen Esse, es entsteht eine Obstruktion infolge der hochgradigen Abkühlung, welche bei dem Ausstossen der Gase und dem Dunsen der Lava notwendig erfolgen muss. Dann kann auch in grösserer Tiefe Erstarrung stattfinden, weil der Druck der lastenden Schichten wiederhergestellt ist. Bei dem allmählichen Erstarren der injizierten Massen tritt jedenfalls eine Verringerung des Volumens ein und dies dürfte die Ursache des Zurücksinkens der früher gehobenen Erdoberfläche sein. Mit dieser Erklärung stimmt es anscheinend recht gut überein, dass die vulkanischen Hebungen, welche vor oder während eines Bebens erfolgen, sich plötzlich geltend machen, während die späteren Senkungen viel längere Zeit erfordern.“ (2.)

Monte nuovo 1538 und Vesuv 1861 haben zweifellos den Beweis dafür geliefert, dass es vulkanische Hebungen, wenn auch nur in beschränktem Ausmass gibt. Ich glaubte aber damals hinzufügen zu sollen, dass solche Hebungen unter Umständen weit das Mass der relativ unbedeutenden Vorgänge an den genannten vulkanischen Essen Unteritaliens überschreiten könnten und verwies auf die Bildung der Lakkolithe, welche ohne gewaltige Auftreibung der überlagernden Schichten nicht wohl zustande kommen könne. Heute möchte ich wohl kaum alle Beispiele, die ich damals anführte, für echte Lakkolithe erachten und überhaupt das Phänomen der Lakkolithe für ein ungleich beschränkteres und selteneres halten, als dies von vielen Autoren angenommen wird. Mit Recht hat z. B. F. E. SUESS Bedenken gegen die Deutung mancher Phonolithkuppen der böhmischen Mittelgebirges als Lakkolithe geltend gemacht (3), und wie weit manche Autoren den Begriff Lakkolithe ausdehnen wollten, zeigt die Anwendung desselben auf das kleine Basaltvorkommen von Weitendorf bei Wildon in Oststeiermark, das als Lakkolith angesprochen wurde (4), obwohl der ganz beschränkte Aufschluss, der die marinen Miocän-schichten im Kontakt mit dem Basalt zeigt, recht verschiedene Deutung zulässt (4—8), gewiss aber in noch ungleich geringerem Grade für die Deutung des Basaltes von Weitendorf als Lakkolith spricht, wie der Fetzen von Kreidegesteinen an der Flanke des Milleschauer, den J. E. HIBSCH als Beweis für die Lakkolithnatur desselben betrachtete. Ich möchte diejenigen, welche geneigt sind, auf Grund unvollkommener Beobachtungen überall Lakkolithe anzunehmen, auf die überaus instruktiven Experimente E. REYERS über Masseneruptionen (9) verweisen, aus welchen zur Genüge hervorgeht, dass manche angeblich für Lakkolithe bezeichnende Lagerungsverhältnisse sich auch bei stockförmigen und effusiven Massenergüssen bilden können. Um Missverständnisse zu vermeiden, bemerke ich, dass die obigen Bemerkungen sich lediglich gegen die Deutung der betreffenden Bildungen

als Lakkolithe, nicht aber etwa gegen die Altersbestimmung derselben richten, und dass es mir zumal ferne liegt, die Ausführungen HILBERS und LEITMEIERS über das Alter des Weitendorfer Basaltes in Frage zu stellen; übrigens hat sich der letztere selbst ausdrücklich dagegen verwahrt, dieses Basaltvorkommen als Lakkolith angesprochen zu haben. Zur Zeit, als ich die „Erdbebenkunde“ schrieb, wollte man überall Lakkolithe finden. Heute würde man die Granitmassen des Kaiserwaldes, welcher den westlichen Abschnitt des Karlsbader Gebirges bildet, vielleicht kaum mit F. LÖWL als Lakkolithe deuten, und es scheint mir auch zweifelhaft, ob diese Bezeichnung auf die Intrusivmassen der Euganeen, für welche sie PENCK neuerdings anwendet, vollkommen passt. Damals aber glaubte ich die Granitmassen des Kaiserwaldes, die intrusiven Vorkommnisse der Euganeen und der Hebriden als Beispiele für das Vorkommen von Lakkolithen in Europa anführen zu dürfen und schrieb: „Dass solche Intrusionen, welche mit Emporwölbung der überlagernden Schichten, teilweisem Zerbrecen derselben, Bildung von Spalten und Injektion derselben durch von den Lakkolithen ausgehende Apophysen zusammenhängen, gewaltige Erderschütterungen hervorrufen müssen, ist wohl selbstverständlich, wenn auch diese Intrusionen aller Wahrscheinlichkeit nach mit viel grösserer Ruhe vor sich gehen mögen, als die gewöhnlichen subaërischen Ausbrüche“. Ich besprach dann die Ansicht von E. SUESS, nach welcher das Empordringen grosser Magmamassen nicht der Spannkraft des im Magma enthaltenen Wasserdampfes sondern dem einfachen Empordrücken der Lava durch sinkende Gebirgsteile zuzuschreiben sei und meinte, dass sowohl diese Erklärung des Heraustretens der Lava auf Brüchen der hinabsinkenden Gebirgsteile, welche die Lava nach rein hydrostatischen Gesetzen emporpressen, wie die REYERSche Ansicht von dem Emporbrausen des durch eine tief genug hinabreichende, Entlastung bewirkende Spalte verflüssigten Magmas infolge der Spannkraft der eingeschlossenen Liquida, Vorgänge in der Erdrinde voraussetze, die in Lageveränderungen einzelner Teile der Erdrinde bestünden. Solche Vorgänge aber sind selbst die Ursache jener Beben, die ich als tektonische bezeichnete. Es würde daher in solchen Gebieten, in welchen nicht bloss durch das Zerbrecen der Erdrinde und die Bewegung der einzelnen Schollen unmittelbar Erdbeben verursacht werden, sondern auch vulkanische Erscheinungen auftreten, unter Umständen sehr schwierig werden, vulkanische und tektonische Erschütterungen scharf auseinander zu halten: „Man wird geneigt sein, bloss jene Beben, die nachweislich von einem tätigen oder im Zustande der Ruhe befindlichen Vulkane ausgehen und sich auf die Umgebung desselben beschränken, als vulkanische zu bezeichnen, während man alle verbreiteteren, nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einem oberflächlich sichtbaren vulkanischen Schlotte stehenden Beben für tektonische halten wird. Es ist aber recht gut möglich, dass manche

der letzteren mit Intrusionsvorgängen in der Tiefe zusammenhängen, die sich oberflächlich nur durch Erschütterungen verraten. Diese Erschütterungen aber, die man gewissermassen als „kryptovulkanische“ bezeichnen könnte, werden in ihrer eigentlichen Natur wohl sehr schwer, mit den uns bisher zu Gebote stehenden Mitteln aber gewiss gar nicht zu erkennen sein, ein Mangel, über welchen uns allenfalls die Erwägung trösten mag, dass solche Fälle, in welchen grosse Intrusionen in der Tiefe stattfinden, ohne sich auch an der Oberfläche durch die gewöhnlichen Eruptionerscheinungen zu verraten, vergleichsweise ungemein selten sein mögen“.

Während die von mir in der „Erdbebenkunde“ vertretene Ansicht, dass die meisten, verbreitetsten und stärksten Erderschütterungen tektonischer Natur seien und vulkanische Beben ihnen gegenüber nur eine unbedeutende Rolle spielen, ziemlich allgemein geteilt wurde und durch längere Zeit die herrschende blieb — ihren schärfsten Ausdruck fand sie wohl durch F. FRECH, der die Bezeichnung „seismisch“ überhaupt auf die tektonischen oder Dislokationsbeben beschränkt wissen wollte (10) — hielten vor allem Autoritäten auf dem Gebiete der Seismologie wie J. MILNE und G. GERLAND an den plutonistischen Ansichten fest, wie sie in alter Zeit von Aristoteles, Strabo, Seneca und Plinius gehegt, in neuerer durch A. v. Humboldt und L. v. Buch bekräftigt wurden. Ausser MILNE und GERLAND haben aber auch zahlreiche andere Autoren, welche sich mit der Erforschung seismischer und vulkanischer Erscheinungen beschäftigten wie A. SCHMIDT, A. STÜBEL, W. BRANCA, G. MERCALLI die Ansicht vertreten, dass viele Erderschütterungen mit Unrecht für tektonische gehalten würden und vielmehr auf vulkanische oder plutonische Vorgänge zurückzuführen seien. E. BÖSE schreibt über diese Frage (11): „Eine Zeitlang hat man alle Beben, welche sich nicht direkt auf Einstürze oder Vulkane zurückführen liessen, schlechtweg als tektonische bezeichnet. Seit etwa 10 Jahren hat ein Umschwung hierin begonnen; vor allem hat die Erkenntnis der ausserordentlich tiefen Lage der Herde (z. T. mehr als 300 km unter der Erdoberfläche), welche sich erst auf Grund der Untersuchungen von A. SCHMIDT und unter Benutzung ausserordentlich empfindlicher Instrumente haben berechnen lassen, dazu beigetragen, dass jene Theorie der Dislokationsbeben ins Wanken geriet. Bei solchen Tiefen kann das Gestein längst nicht mehr so hart sein, dass noch Reibung entsteht, also würde damit auch das Auftreten von Dislokationsbeben wegfallen“. Und nachdem BÖSE die hohen Druck- und Temperaturverhältnisse erörterte, die bereits in 50 km Tiefe herrschen müssten, sagt er: „Auf solche Überlegungen gestützt, haben sich namhafte Forscher wie GERLAND, A. SCHMIDT, STÜBEL, BRANCA, MERCALLI u. a. dahin ausgesprochen, dass wohl ein Teil der bisher als tektonisch angesehenen Erdbeben eine andere Ursache haben muss. Als eine solche Ursache nimmt man den Vulkanismus im Erdinnern an, wobei man meistens an

Explosionen von Gasen oder Wassermassen denkt. Solche Beben müssen also unbedingt von den tektonischen Beben abgetrennt werden, deren Herd der Oberfläche relativ naheliegen muss, und HOERNES hat solche Beben mit tiefem Ausgangspunkt (Herd) in glücklicher Weise als *kryptovulkanische* bezeichnet; BRANCA nennt sie *vulkanische* Beben im weiteren Sinne, MERCALLI schuf den Ausdruck *intervulkanische* Beben. Zu solchen kryptovulkanischen Beben gehören natürlich die meisten Erdbeben, welche auf grosse Strecken hin wahrgenommen wurden, denn es ist sicher, dass das Verbreitungsgebiet der Beben im Verhältnis zur Herdtiefe zunimmt. Man darf übrigens davon, dass während eines Bebens an der Erdoberfläche Spalten oder Verwerfungen entstehen, durchaus noch nicht schliessen, dass es sich um ein tektonisches Beben handelt, da diese Verwerfungen auch die Folge des Erdbebens sein können, während sie bei tektonischen Beben die Ursache wären.“

Ich habe diese Ausführungen BÖSES wiedergegeben, weil sie die entscheidenden Fragen berühren: jene nach der Herdtiefe und jene, ob die bei katastrophalen Beben an der Oberfläche der Lithosphäre wahrzunehmenden grossen Dislokationen als Ursache oder als Folgewirkung der Erschütterung zu betrachten sind. Was nun die Herdtiefe anlangt, so bin ich der Ansicht, dass die Ableitung von Herdtiefen von über 300 km auf Grund seismographischer Aufzeichnungen auf einen Irrtum in der Verwertung der letzteren zurückzuführen ist. Ich verkenne keineswegs die ungeheuren Fortschritte, die unsere Erkenntnis durch die von J. MILNE angebahnte und nun von allen Kulturvölkern der Erde gepflegte genaueste Beobachtung der Erderschütterungen durch überaus empfindliche, selbstregistrierende Apparate gemacht hat. Die Untersuchungen von E. WIECHERT und H. BENNDORF haben uns besser als die vor ihnen durch MILNE, LASKA und OLDHAM unternommenen Versuche, die Laufzeitkurven der Erdbeben zu Schlüssen über die Beschaffenheit des Erdinnern zu verwenden, über den schalenförmigen Aufbau des Planeten, seinen gewaltigen riegen Nickel-Eisenkern, die darauf folgende magmatische Zone und die äussere von der Lithosphäre gebildete Rinde orientiert. Es mag diesbezüglich auf einen Vortrag BENNDORFS verwiesen werden, dem auch die wesentlichsten Literaturangaben hinsichtlich der physikalischen Beschaffenheit des Erdinnern beigelegt sind (12). Den letzteren wäre noch eine seither veröffentlichte Erörterung der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in verschiedenen Tiefen anzureihen, in welcher W. TRABERT mit Hilfe einer einfachen und durchsichtigen Methode eine Bestätigung der WIECHERT'schen und BENNDORF'schen Ansichten erbringt (13). Es ist aber auch durch BENNDORF in seinen „Mitteilungen über die Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern“ eine Methode der Berechnung der Herdtiefe und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Nähe der Erdoberfläche angegeben worden, welche sichere Bestimmungen des tatsächlichen Ausgangs-

ortes der Beben und damit wohl auch die Entscheidung über die wahre Natur ermöglichen wird. Freilich erfordert die Durchführung der Rechnungen ein exaktes Beobachtungsmaterial, und BENNDORF sagt deshalb noch 1906: „dass es sich vorläufig kaum der Mühe lohnen würde eine praktische Durchrechnung zu probieren (14).“ Ich werde am Schlusse der vorliegenden Ausführungen darauf zurückzukommen haben, dass die wichtigste Frage, welche die Erdbebenforschung heute zu lösen hat, eine exakte Bestimmung des wahren Ursprungsortes der Beben, wohl nur durch genaueste Zeitbestimmung des Eintrittes der Erschütterung durch gleich empfindliche Apparate ermöglicht werden wird. Hierbei wird es sich namentlich um genauere Untersuchung der Nahbeben handeln, deren intensives Studium wie BENNDORF am Schlusse seines in der Wiener Geologischen Gesellschaft gehaltenen Vortrages betont, auch Licht über die Beschaffenheit der äussersten Erdkruste, über ihre Mächtigkeit und Beschaffenheit in Tiefen, die den Geologen unzugänglich sind, verbreiten wird.

G. GERLAND ist bei der Annahme, dass manche oder die meisten und auch die ausgebreitetsten Beben ihre Ursache in grossen Tiefen der Erde hätten, von der Voraussetzung ausgegangen, dass Vorgänge im heissen Erdinnern in der Erdoberfläche näher liegenden Krustenteilen Spannungen der Gesteinschichten zur Auslösung brächten (15). Er hat diese Meinung wiederholt vertreten, allerdings aber in neuerer Zeit auch Ansichten geäussert, die sich nicht leicht als Stütze seiner Hypothese verwerten lassen. So hat er 1908 den Gegensatz im seismischen Verhalten des pazifischen und atlantischen Ozeans geschildert: „von letzterem“ — sagt GERLAND — „gehen auf die ihn umgrenzenden Festländer, auf Europa, Afrika, Süd- und Nordamerika, so gut wie keine Fernbeben aus, und Fernbeben, Weltbeben, die sich über die ganze Erde erstrecken, entsendet er nie, während umgekehrt die Ausgangspunkte der so zahlreichen Erdbeben des östlichen Asiens und des westlichen Amerikas fast alle im angrenzenden pazifischen Ozean liegen“ — in letzter Linie auf die von MICHEL LEVY und MARCEL BERTRAND vorausgesetzte Tetraederbildung zurückgeführt, die bei der Abkühlung der Erdkugel infolge Raumverlustes sich entwickelt hätte (16). Im Pazifik wäre nach GERLAND ein grosser Teil der ältesten Erdrinde als Meeresboden bewahrt geblieben, er besitze eine grössere Seismität als die übrige Erdrinde, und seine seismische Tätigkeit sei eine eigenartige, sie trete vielfach ganz ohne vulkanische Tätigkeit auf, „wohl als Fortsetzung innerer Tätigkeit, innerer Bewegungen, Erschütterungen, der Erde, die aus tiefstem Grund mikroseismisch aufsteigen.“ GERLAND weist diesbezüglich auf die tiefen und lang ausgedehnten Bodensenkungen, die „Gräben“ des Pazifik hin, und meint, dass die Erschütterungen des tiefsten Bodens dieser Gräben sich als Mikroseismen im Boden des Ozeans in den gleichen Tiefenschichten verbreiten, die unter den

Festländern durchziehen. Die mächtigsten Beben der Erde, aber auch vulkanische Tätigkeit müssten hingegen dort auftreten, wo der Boden des gewaltigsten und ältesten Ozeans der Erde mit den ganz anders gearteten Kontinentalmassen zusammenstösse. Der Boden des atlantischen Ozeans, der aus eingesunkenen Kontinentalflächen bestehe, sei von ganz anderer Bildung als jener des Pazifik; es fehlen die Senken, die „Gräben“, es fehle der unmittelbare Übergang zum Erdinnern, welches unterseeisch mit allen Festlandsresten zugedeckt sei. Deshalb könne der Atlantik keine Mikroseismen, keine Weltbeben aussenden, ebensowenig wie dies die Festländer tun könnten. Der Atlantik zeige nur vulkanische Durchbrüche und auch seine Seebeben würden nur durch vulkanische Eruptionen veranlasst, von denen vielleicht nur wenige die Bodenrinde des Atlantik durchbrochen hätten.

Auch E. RUDOLPH, der für die Seebeben, die früher gerade hinsichtlich der grossen, ganzen Ozeane in Bewegung setzenden Erscheinungen ziemlich allgemein auf tektonische Vorgänge zurückgeführt wurden, tektonische und vulkanische Ursachen unterschied, von denen gerade die letzteren Veranlassung zu jenen grossen Wellenbewegungen geben sollten, die sich auf ausserordentliche Entfernung fortpflanzen und die ozeanischen Becken in ihrer ganzen Breite durchmessen können (17), hat sich auf Grund der seismischen Ereignisse der Jahre 1903 bis 1905 dahin ausgesprochen, dass die Weltbeben, die seismischen Ereignisse, welche den ganzen Erdball in Schwingungen versetzen, von den Gräben ausgehen (18). Er berichtet, dass in den genannten Jahren dem Aleutengraben 8 Störungen angehören, dem Marianengraben 4, dem Tongagraben 1, dem nördlichen Teil des Japangraben 5, dem südlichen Abschnitt 1, dem Philippinengraben 1, dem Banda und Sundagraben je 1, und auf die Senkungsbrücke der Westküste Amerikas allein 11 Störungen entfallen. Alle diese Störungen sind Weltbeben gewesen, und RUDOLPH glaubte daraus den Schluss ziehen zu können, dass die Weltbeben überhaupt nur den Gräben und den ihnen genetisch gleich zu stellenden Senkungsbrüchen entstammen. Er vergleicht ferner die stärksten Beben der drei Jahre 1903 bis 1905 in bezug der Grösse ihrer Schütterfläche und fand einen wesentlichen Unterschied zwischen der Mehrzahl der Störungen mit festländischem Epizentrum einer-, mit unterseeischem Epizentrum andererseits. Der Radius der Schütterfläche der ersteren hat im Maximum eine Länge von 15000, jener der letzteren hingegen eine solche von 18000 bis 20000 Kilom. Die ersteren Beben, welche ohne Ausnahme den jugendlichen Gebirgen angehören, bezeichnet RUDOLPH als *Faltungsbeben*, die letzteren als *Bruchbeben*. Er erinnert dabei daran, dass man nach dem Vorgange von F. v. RICHTHOFEN dem Faltungstypus einen Zerrungstypus gegenüberstellt. Die Weltbeben würden danach in die Kategorie der

Bruchbeben gehören, wobei es nichts ausmache, ob der Bruch auf dem Boden des Meeres gelegen ist, oder den Rand eines Festlandes bildet oder im Binnenland die Erdrinde durchsetzt. Der von RUDOLPH aufgestellte Gegensatz von Erdbeben mit festländischem und unterseeischem Epizentrum erfährt also insofern eine Einschränkung als zu den ersteren nur diejenigen zu rechnen sind, welche in Faltengebirgen gelegen sind. Ausdrücklich betont RUDOLPH: „Bei dieser Einschränkung der Begriffsbestimmung stellen die beiden Weltbeben vom 9. und 23. Juli 1905, welche von der Umgebung des Baikalsees ausgingen, keine Ausnahme dar, denn sie gingen von den grossen Brüchen aus, welche den ostasiatischen Staffelbrüchen parallel verlaufen. Ebenso gehört das kalabrische Beben vom 8. September 1905 in die Kategorie der Bruchbeben“! Leicht liesse sich die Zahl von Beispielen der letzteren Kategorie durch Anführung von seit 1905 eingetretenen Weltbeben vermehren, welche festländische Epizentren besaßen; ich will jedoch hierauf nicht weiter eingehen, sondern nur hervorheben, dass die eben erörterten Ausführungen RUDOLPHS zur Genüge dartun, dass die Strassburger Seismologenschule von der früher durch sie vertretenen Überschätzung der vulkanischen oder plutonischen Ursachen der Beben zurückzukommen beginnt. Ein ganz wesentlicher Fortschritt scheint mir auch darin zu liegen, dass der Versuch gemacht wird, zwischen Beben, die von verschiedenen Tiefen der Erdkruste ausgehen, zu unterscheiden, gerade so, wie die Geologen, die sich mit dem Aufbau der Kettengebirge beschäftigten, die Faltungen und Überschiebungen auf Vorgänge in den äussersten Teilen der Erdrinde, die Einbrüche aber auf die Erdrinde bis zu grossen Tiefen durchsetzende Störungen zurückzuführen geneigt sind. So hatte ich bei Parallelisierung des Einbruchs von Salzburg mit jenem der inneralpinen Niederung von Wien den durch HAUG erörterten Deckenbau des Salzburger Gebirges als eine oberflächliche Bildung bezeichnet, von dem Einbruch aber behauptet, dass er den ganzen Gebirgsbau durchsetze, so dass auf den begrenzenden Bruchlinien ähnliche Emanationen aus der Tiefe stattfinden konnten, wie sie E. SUESS am Rande des Einbruches von Wien nachgewiesen hat (19).

W. BRANCA ist bei seinen Ausführungen, durch welche er erweisen wollte, dass man den Anteil der tektonischen Vorgänge an der Erzeugung von Beben über-, jenen vulkanischer Vorgänge aber unterschätzt habe (20), zunächst von der angeblich grösseren Tiefe der Bebenherde ausgegangen. Er erinnert daran, dass A. SCHMIDT für das mitteldeutsche Beben von 1872 statt der von SEEBACH berechneten geringen Tiefe von 18 km eine solche von 37 bis 74 km, für das Erdbeben von Charleston 1886 statt einer Tiefe von 13 bis 19 km eine solche von 107 bis 120 km fand, und meint, dass dies so gewaltige Tiefen seien, dass man weit mehr an vulkanische Kräfte als an absitzende Schollen denken möchte. BRANCA äussert sich

gegen MAASS, der auf Grund einiger Untersuchungen in 10 — 18 Fuss tiefen Brunnen in Japan wohl mit Unrecht behauptet hatte, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Beben im Gegensatz zu der SCHMIDTschen Darstellung ganz allgemein mit der Tiefe abnehme und die Stossstrahlen daher nach unten konkav statt konvex wären, und meint, dass die durch A. SCHMIDT im Gegensatz zu MALLER, von SEEBACH u. a. berechnete, sehr bedeutende Tiefe völlig zu Recht bestände. Damit jedoch wachse der Anteil, welchen man den vulkanischen Kräften bei der Entstehung der Erdbeben zuschreiben müsste. Ob man hierbei nur an Explosionen vulkanischer Gase, bez. von Wassermassen, oder ob man auch an Vorgänge denken will, wie sie A. SCHMIDT auf dem Geographentage in Jena als mögliche Ursache der Beben einführte — Überkühlung flüssiger Silikatismassen, die unter rascher Volumvergrößerung erstarren — das wäre eine Nebensache. BRANCA verweist dann darauf, dass auch GERLAND die Ansicht von der vulkanischen Natur vieler für tektonisch gehaltener Beben vertrete, weil der Herd so tief liege. Er betont, dass er nicht etwa den Versuch machen wolle, das Dasein tektonischer Beben überhaupt zu bestreiten, und führt die Beben von Beludschistan 1892, Lokris 1894, Japan 1891 als solche an, bei welchen die entstandene Dislokation eine so in die Augen springende sei, dass man die tektonische Natur des Bebens nicht bezweifeln werde, hebt aber hervor, dass in den überwiegend meisten Fällen von Beben, die als tektonische erklärt werden, von der Verschiebung einer Scholle nicht das Mindeste zu bemerken sei. Der Betrag der Verschiebung, wenn eine solche wirklich vorliege, könnte dann nur ein ganz minimaler sein. Wie wolle man aber mit einem solchen unsichtbaren Betrag von Dislokation das Auftreten ganzer Erdbebenzeiten in Einklang bringen, welche Wochen, Monate, Jahre lang dauern und zahlreiche Stösse liefern. Der strikte Beweis dafür, dass in solchen Fällen, in denen man nichts von einer Dislokation erkennen könne, dennoch ein Dislokationsbeben vorliege, sei jedenfalls nicht leicht zu erbringen. Man dürfe auch die Möglichkeit nicht ausser Auge lassen, dass selbst eine lange und mit deutlicher Senkung des einen Flügels verbundene Spalte ihre Entstehungsursache nicht ausnahmslos notwendig immer in seitlichem Druck, also in gebirgsbildenden Vorgängen haben müsse, sondern dass ihre Ursache doch auch in der senkrechten Heraufwirkung vulkanischer Druck- oder Stosskräfte liegen könnte. Wenn, was ja bestritten wurde, Lakkolithe wirklich die Kraft besäßen, die Erdrinde über sich hochzuheben, dann würden sie natürlich ein Zerbrechen der überliegenden Erdrinde und damit ein Erdbeben verursachen müssen. Das Beben wäre aber dann, trotz Spaltenbildung, kein sogenanntes tektonisches, sondern beides, Spalte wie Beben wäre vulkanischer Entstehung. BRANCA erörtert dann, dass er unter vulkanischen Beben „im weiteren Sinne“ solche verstanden wissen möchte, die nicht an die nächste

Nähe eines speziellen, tätigen Vulkanberges geknüpft seien, sondern relativ fern von Vulkanen losbrächen, aber dennoch durch den Schmelzfluss bez. seine Gase oder den durch ihn erzeugten Wasserdampf hervorgerufen würden. Das was man bei einem Vulkan als missglückte Ausbruchsversuche des Schmelzflusses betrachte, werde man vielleicht mit demselben Recht zu diesen Beben „im weiteren Sinne“ wie zu denen „im engeren Sinne“ rechnen können. BRANCA führt die Beben der Insel Ischia als ein Beispiel dieser Art an, indem er bemerkt, dass der Versuch, sie als Einsturzbeben zu erklären, sich wohl nicht grosser Anerkennung erfreut. Ich möchte hinzufügen, dass ich in meiner Erdbebenkunde gleichfalls, hauptsächlich der Darstellung MERCALLIS folgend, diese Beben auf versuchte Eruptionen zurückgeführt habe, und dass die von mir damals nicht benützte ausgezeichnete Untersuchung der Beben von 1881 und 1883, die wir JOHNSTON-LAVIS verdanken (21), in dieser Hinsicht wohl keinen Zweifel übrig lässt. BRANCA findet es aber einleuchtend, dass derartige Ausbruchsversuche sich nicht bloss unter erloschenen Vulkanen vollziehen können, d. h. an Stellen der Erde, die bereits früher einmal vulkanisch tätig gewesen sind; sondern, da doch jeder Vulkan einmal an irgend einer Stelle einen Anfang genommen haben müsse, so könnten sich offenbar solche Ausbruchsversuche auch an irgend einer von Vulkanen weit entfernten Gegend vollziehen und eventuell so lange andauern, bis hier ein neuer Vulkan entstehe. Es hängt diese Auffassung wohl aufs innigste zusammen mit der von BRANCA in zahlreichen Veröffentlichungen, — zuletzt noch in den Verhandlungen des 10. internationalen Geologenkongresses (21) — vertretenen Ansicht von der Unabhängigkeit der Vulkane von präexistierenden Spalten. Es kann nicht meine Absicht sein, an dieser Stelle ausführlich auf diese, schon so eingehend von vielen Autoren für und wider erörterte Frage zurückzukommen; ich möchte mich begnügen darauf hinzuweisen, dass E. SUESS im letzten Bande seines Werkes „Das Antlitz der Erde“ manche der Erscheinungen, die man als Beweis für die Unabhängigkeit der Vulkane von vorher bestehenden Spalten hervorgehoben hat, auf phreatische Explosionen, auf das Zusammentreffen aufquellenden Magmas mit vadosen Wasser zurückgeführt hat (23). SUESS führt als Beispiel das Ries bei Nördlingen an, welches durch eine phreatische Explosion an der Basis des Jura-kalkes gebildet wurde, dann die zahlreichen durch BRANCA geschilderten Schusskanäle („Vulkanembryonen“) der Schwäbischen Alb, ferner die durch A. GEIKIE untersuchten Schusskanäle des östlichen Fife, deren Ursprung SUESS in einer phreatischen Schicht an der Grenze des alten roten Sandsteins und des Karbon sucht. SUESS sagt dann: „Wo es möglich ist, sich den tieferen Zuführungsstrassen zu nähern, gelangt man in der Regel zu Spalten.“ Er führt zahlreiche erläuternde Beispiele dafür an, von welchen wohl jene der südafrikanischen Schlote, zumal aber die von A. SCHWARZ geschilderten Beziehungen

zwischen Gängen und erweiterten Ausbruchstellen in Matatiele am deutlichsten den Zusammenhang zwischen der „Injektion des Magmas in Spalten und die Erweiterung einzelner Stellen derselben durch Explosion (Daubrées „Diatremen“) erkennen lassen.

A. STÜBEL hat sich dahin ausgesprochen, dass zwar für beschränkte Gebiete und Erschütterungen von geringer Verbreitung tektonische Ursachen angenommen werden könnten, dass aber sichere Beweise für die tektonische Natur der verbreiteteren Beben fehlen und die Unterscheidung tektonischer und vulkanischer Beben daher nur auf subjektiver Auffassung beruhe. Er vertritt die Ansicht, dass viele als tektonisch bezeichnete Beben eine Folge der Äusserung vulkanischer Kraft in den peripherischen Herden wären (24). Ich darf es mir wohl ersparen, hier auf die eigenartigen Ansichten STÜBELS über den irdischen Vulkanismus, die ja manche Freunde, aber auch viele Gegner gefunden haben, näher einzugehen, zumal ich mich bereits an anderer Stelle bei Gelegenheit der Besprechung des nachgelassenen Werkes STÜBELS über die Vulkane von Colombia ausführlich gegen die STÜBELsche Vulkantheorie ausgesprochen habe (25). Ich halte es nicht für nötig nochmals auf sie zurückzukommen, sondern beschränke mich auf den Hinweis, dass sich die Hypothese der peripherischen Herde schlechterdings mit den neueren Ansichten über die Gauverwandtschaft der Gesteine nicht vereinbaren lässt. Ich verweise diesbezüglich auf die schon 1902 von F. BECKE auf der Naturforscherversammlung in Karlsbad gemachte Unterscheidung zweier Typen jungvulkanischer Gesteine, von welchen der eine (Andes-Typus) den gefalteten Gebieten, der andere (Typus des böhmischen Mittelgebirges) den durch Schollenbrüche gestörten Gebieten eigen ist. Ausführlicher hat BECKE diese Unterscheidung im folgenden Jahre begründet und die beiden Typen als pazifisch und atlantisch bezeichnet (26). Seine Ansichten haben seither vielfache Bestätigung gefunden. A. BERGEAT, der zu den entschiedensten Gegnern der STÜBELschen Vulkantheorie gehört, hat durch Erörterung der Tatsache, dass das Magma des Erdinnern im grössten Massstabe schlierig ist und die Tätigkeit der Vulkane von grossen gemeinschaftlichen Magmazonen ausgeht, welche die Gauverwandtschaft der Eruptivgesteine bedingen, meines Erachtens den sicheren Nachweis dafür erbracht, dass die Eruptionen nicht von individuellen Sonderherden genährt werden können (27).

BECKE wollte den Unterschied der pazifischen und der atlantischen Sippe der jüngeren Eruptivgesteine dadurch erklären, dass in den pazifischen Essen eine beträchtliche Aufzehrung sedimentärer Gesteine stattfinde, wodurch der grössere Gehalt an Ca und Mg erklärt würde. E. SUESS hat auch darauf hingewiesen, dass das Zurücktreten von Ca und Mg in den jüngeren Eruptivgesteinen der atlantischen Erdhälfte vielleicht mit den besonderen Fortschritten in der Erstarrung derselben zusammenhänge. Eine Entscheidung dieser Frage und

eine sichere Erklärung über die der Gauverwandtschaft der Massengesteine zugrunde liegenden Ursachen wird wohl die schon von BECKE als wünschenswert bezeichnete Untersuchung darüber bringen, ob die Trennung atlantischer und pazifischer Gesteine auch in den Bildungen der älteren Eruptions-Epochen durchführbar ist. Soweit sich gegenwärtig unsere Erfahrungen auf dem Gebiet des Vulkanismus überblicken lassen, kann nach wie vor daran festgehalten werden, dass Erdbeben in grossem Massstab durch vulkanische Vorgänge nicht hervorgerufen werden können. Die Explosionserscheinungen, welche vulkanische Erschütterungen („vulkanische Beben im engeren Sinne“ nach BRANCA) hervorrufen, sind auf die äusseren Teile der Erdrinde beschränkt. Und von diesen Explosionsbeben wissen wir mit Sicherheit, dass sie trotz örtlich oft sehr bedeutender Intensität doch nur geringe Verbreitung aufweisen. Die durch Kimberlitgänge verbundenen Diatremen Südafrikas, namentlich aber die durch A. GEIKIE geschilderten Schusskanäle des östlichen Fife zeigen, dass die Explosionen, durch welche die Diatremen ausgebohrt wurden, in geringer Tiefe stattfanden. E. SUESS gibt an oben bereits erwähnter Stelle eine kurze Erörterung der von GEIKIE untersuchten geologischen Verhältnisse der Halbinsel zwischen dem Firth of Tay und dem Firth of Forth. Die Profile am Meere zeigen, dass die mit einem aus der Zerstäubung basischen Magmas hervorgegangenen Tuff erfüllten Ausbruchsröhren unabhängig sind von den Verwerfungen und der Schichtstellung des Karbon. Um so auffallender findet SUESS den von GEIKIE betonten Umstand, dass neben den unzähligen Splintern von Karbon nie eine Spur des unterliegenden alten roten Sandsteins oder der noch tieferen Sedimente getroffen wurde. „Es muss“ — sagt GEIKIE — „zugestanden werden, dass aus der Beschaffenheit des Inhalts der Schlote kein Argument zugunsten eines tiefgelegenen Ursprunges der Eruptionen gezogen werden kann (28)“.

Unterliegt es sonach keinem Zweifel, dass die auf die äussersten Teile der Rinde des Planeten beschränkten vulkanischen Explosionsvorgänge keine grösseren, weitverbreiteten Erschütterungen zu verursachen vermögen, so bleibt doch noch die Frage zu erörtern, ob nicht etwa eruptive Vorgänge, die sich in grösserer Tiefe abspielen, solche Beben verursachen könnten. Hier kämen vor allem jene Vorkommnisse in Betracht, die E. SUESS als Batholithen bezeichnete. Er schuf (29) diese Bezeichnung zunächst für die grossen, zumeist granitischen Brode, welche dem geschichteten Gebirge eingeschaltet erscheinen, unter Beziehung auf HOPKINS „Residual Lakes“ und DUTTONS „Maculae“, ausgehend von der Vorstellung, dass dem Eindringen der granitischen Masse die Bildung eines entsprechenden Hohlraumes vorangehen oder sie (durch Abstau und Entlastung) begleiten müsse. Ein erneuter Besuch des Erzgebirges im Jahre 1893 habe ihm aber, — sagt SUESS an späterer Stelle (30) — die Überzeugung gebracht, dass die Umrisse dieser Intrusivstöcke das Streichen

und die Falten des Gebirges schonungslos durchschneiden, etwa wie wenn ein glühender LötKolben durch die Fläsern eines Brettes gedrückt wird. Dazu kamen die Erfahrungen über Durchschmelzungen am Monde und nun bezeichnete SUESS Batholithen als Intrusivmassen, welche fortsetzen in die „ewige Teufe“, im Gegensatz zu den Lakkolithen, welche seitliche Injektionen über einer fremden Unterlage sind. „In der Tat“ — sagt SUESS — „führt die Betrachtung der Natur zu der sicheren Meinung, dass die Batholithen ihre Ortstellung (*mise en place*) durch Aufschmelzen und Aufzehren der Nebengesteine vollziehen.“ Er erörtert die Bildung von Batholithen an einer Reihe von Beispielen und weist darauf hin, dass sich DALY zur Erklärung der Intrusion auf den Vorgang berufe, den der amerikanische Bergmann „overheadstopping“ nennt, während ihn der Deutsche als „Übersichbrechen“ bezeichnet: „Das Gewicht der Felsarten der Wände und des Daches ist grösser als jenes des flüssigen oder viskosen Magmas. Temperatur und Schwere lösen Bruchstücke ab und diese sinken in das Magma. Entweder sieht man sie als hochveränderte Einschlüsse in diesem schwebend oder sie wurden aufgezehrt auf der Reise zur Tiefe“. Solche Vorgänge mögen sich auch heute noch in grösserem oder geringerem Ausmass in den tieferen Regionen der Erdrinde abspielen, sie können aber meines Erachtens um so weniger heftige und weitverbreitete Erderschütterungen herbeiführen, als sie sich gewiss sehr allmählich und vergleichsweise ruhig vollziehen müssen. Noch weniger als die im eigentlichen Sinne vulkanischen, eruptiven Vorgänge werden die mit der Bildung von Batholithen zusammenhängenden Erscheinungen des Aufschmelzens und Übersichbrechens heftige Beben von grosser Ausdehnung verursachen können.

Nun fragt es sich, ob nicht die Injizierung grosser Gänge und die Bildung von Lakkolithen, die jetzt im wesentlichen als die örtlichen Anschwellungen von Lagergängen betrachtet werden, solche Erschütterungen verursachen können. Ich zweifle nicht daran, dass solche Vorgänge imstande sind, sich an der Erdoberfläche durch Erschütterungen fühlbar zu machen, aber ich bin der Überzeugung, dass die auf solche Art veranlassten Beben kaum gewaltiger und verbreiteter sein werden als die „im engeren Sinne“ Vulkanischen. Es muss hier vor allem hervorgehoben werden, dass es sich bei solchen grossen Injektionen nicht um einen momentanen Vorgang handelt, welcher der Auslösung der Spannung bei einem tektonischen Beben vergleichbar wäre. Da allen Versuchen, den „kryptovulkanischen“ oder „vulkanischen Beben im weiteren Sinne“ eine erhöhte Bedeutung beizumessen, im wesentlichen die tief eingewurzelte, durch A. v. HUMBOLDT begründete Vorstellung einer „Reaktion des Erdinnern auf die Erdoberfläche“, einer aktiven Rolle der plutonischen Vorgänge innewohnt, möchte ich betonen, dass die Ausfüllung von Gangspalten mit injiziertem Magma und die Bildung von Lakko-

lithen hauptsächlich durch passive Injektion zustande kommt. E. SUESS verweist bei Erörterung derselben auf die Tatsache, dass ausgedehnte Gangspalten oft nicht mit eruptivem Gestein sondern mit Sandstein injiziert sind. So tritt in Südafrika in den Witteberg-schichten von Elands-Vley nach ROGERS und DU TOIT ein zwischen parallelen Seitenwänden steil aufsteigender Gang hervor, nur 2,4 bis 2,5 m breit, nach einer Auffassung 11, nach einer anderen mehr als 57 km lang, zu beiden Seiten mit leichter Aufrichtung der benachbarten Schichten aber nicht mit vulkanischem Gestein, sondern mit Sandstein erfüllt (31). Ein solches Vorkommnis ist wohl als eine Folgewirkung einer heftigen Erderschütterung zu betrachten, durch welche seinerzeit aus tieferen Lagen Sand in ähnlicher Weise emporgepresst wurde, wie dies heute bei starken Erdbeben aus den zusammengerüttelten Flussalluvionen erfolgt, aus denen Schlamm, Sand und Wasser durch die entstandenen Spalten an die Oberfläche emporsteigen.

DILLER und NEWSOM haben solche „klastische Gänge“ aus Kalifornien beschrieben (32), wo Sandsteingänge von zum Teil ansehnlicher Mächtigkeit innerhalb verschiedenartiger Gesteine der Tertiär- und Kreideformation, im Granit, Basalt usw. aufsetzen und als von oben her angefüllte Erdbebenspalten gedeutet werden. Auch bei Weinböhla in Sachsen an der Lausitzer Überschiebung findet sich, wie E. KAYSER anführt (33) ein ähnlicher, in Kalken der oberen Kreide aufsetzender Sandsteingang. Er soll dadurch entstanden sein, dass die die Kreide bedeckenden tertiären Sande von oben her in eine offene Verwerfungsspalte eindringen (33).

E. SUESS verweist bezüglich der passiven Injektion der Eruptivgesteine darauf, dass SALOMON das Aufsteigen der Tonalitmasse des Adamello dem Sinken der lombardischen Ebene zuschreibt und BRÖGGER geneigt ist, das Aufsteigen des Drammen-Granites am Fjord von Kristiana auf ähnliche Weise zu erklären. Deutlicher aber tritt seiner Meinung nach schon durch die grosse Seltenheit oder den Mangel an Kontaktmineralien die passive Bewegung bei den Lagergängen hervor, die GILBERT Lakkolithen genannt hat. Er bemerkt, dass diesem Ausdruck nicht selten eine viel zu weite Fassung gegeben wird und solche Formen sogar als aktive Elemente in der Bildung der Gebirgsketten angegeben wurden. Demgegenüber macht SUESS die klaren Definitionen der amerikanischen Geologen geltend, die DALY gesammelt hat (34), erörtert die bezeichnenden Merkmale der Lakkolithen, die nur örtliche Aufblähungen aber keine Gebirgsketten zu erzeugen imstande sind, bespricht die Erleichterung ihrer Bildung durch tektonische Vorgänge und betont, dass die aufwölbende Kraft der amerikanischen Lakkolithen in idealisierten Profilen oft überschätzt worden ist. Die Injektion, welche einen Lagergang oder einen Lakkolithen formt, kann man sich wohl kaum als einen momentanen Vorgang vorstellen, der imstande wäre, eine gewaltige

Erschütterung hervorzurufen. Man hat allerdings für Gänge von grosser Ausdehnung plötzliche Entstehung angenommen. So meint BARELL von injizierten Gängen im Bergwerksdistrikt von Marysville, Montana, dass sie plötzlicher Entstehung seien, weil wegen ihrer bedeutenden Länge die Injektion sonst hätte erkalten müssen. Man kann sich aber meiner Meinung nach unmöglich denken, dass etwa ein Lagergang wie der Whin-Sill, der im Unterkarbon von Northumberland einen Flächenraum von über 1000 englischen Quadratmeilen einnimmt, in ganz kurzer Zeit gebildet worden sei. In solchen Fällen muss man gerade wegen der Ausdehnung der Bildung wohl annehmen, dass der Injektionsvorgang doch mehrere Tage — vielleicht sogar Wochen oder Monate in Anspruch genommen hat; eine momentane Bildung kann ein Gang von solcher Ausdehnung unmöglich sein. Seine „plötzliche“ Entstehung könnte wohl nur so aufgefasst werden, dass der Injektionsvorgang ein einheitlicher war und sich in einem beschränkten Zeitraum abspielte, nicht etwa, wie E. REYER schon 1888 für die Zentralmassen der Alpen annahm (35) und noch 1907 neuerdings behauptete (36) durch Nachschübe zustande kam, die sich auf die Dauer grosser Erdperioden erstreckten. Ich werde auf diese Unmöglichkeit, für einen grösseren mit Magma injizierten Gang eine momentane Entstehung anzunehmen noch bei Besprechung der Erklärung des kalifornischen Erdbebens vom 16. April 1906 durch A. ROTHPLETZ zurückzukommen haben, nach welcher dieses Beben als ein Injektionsbeben zu betrachten wäre. Ehe ich aber auf diese Frage eingehe, möchte ich noch die Bedeutung erörtern, welche die immer mehr Boden gewinnende Ansicht über die Emporpressung des Magma durch den Druck sinkender Schollen der Erdrinde oder dieser in ihrer Gesamtheit für die Erklärung der Erdbeben haben kann.

Die Lehre von der Isostasie, welche hauptsächlich durch DUTTON begründet wurde, die aber auch in DE GEER, UPHAM u. a. Anhänger fand, erklärt — wie KAYSER bemerkt — manche sonst nur schwer verständlichen geologischen Erscheinungen in einfacher und ungezwungener Weise: „So würde z. B. schon der Druck, den eine isostatisch sinkende Scholle auf die Magmazonne des Erdinnern ausübt, ausreichen, um die schmelzflüssigen Massen emporsteigen zu lassen, und zwar um so mehr, als die isostatisch aufsteigende Scholle ihnen nach oben hin Platz macht (37)“. Wollte man indessen auf solche Bewegungen in der Magmazonne die Entstehung grösserer Erdererschütterungen zurückführen, so würde dies meines Erachtens die Verwechslung von Ursache und Wirkung bedeuten. W. H. HOBBS beschreibt in seiner Einführung in die Erdbebenkunde einen sehr einfachen Apparat, welcher die Verschiebung von in Wasser eingetauchten, rechteckigen, verschieden hohen Holzklötzchen zur Anschauung bringt (38), als geeignet, die Ausgleichsbewegungen der Erdschollen bei Erdbeben und die Bildung von Erdbebenverwerfungen

längs ihrer Ränder zu erklären, wobei die seitliche Bewegung des Wassers unter den Blöcken die Verschiebung von Gesteinsmaterial in dem tieferen Teil der plastischen Zone zu veranschaulichen hätte.

Es darf an dieser Stelle wohl daran erinnert werden, dass G. PILAR schon vor längerer Zeit (1881) ähnliche Versuche mit Holzprismen von trapezischem Querschnitt angestellt hat, die auf Wasser schwimmend Hub- und Senkschollen versinnlichen sollten (39). Auf PILARS Theorie der „Rhyakohypse“ soll hier nicht weiter eingegangen werden, ich möchte nur bemerken, dass er die Erdbeben auf Spaltenbildung und Verwerfung zurückführt, die an der Grenze von Hebungs- und Senkungsschollen sich einstellt, die meisten Beben sonach als tektonische betrachtet, aber gleichwohl geneigt ist, mit PERREY und FALB einen grossen Einfluss der Flutfaktoren auf die Periodizität der Erdbeben anzunehmen.

Auf die oft behauptete und ebensooft bestrittene Periodizität des Erdbebens kann ich an dieser Stelle nicht näher eingehen. Beachtenswert scheint mir aber, dass ein so genauer und gewissenhafter Beobachter wie HERMANN CREDNER sich in seinen Untersuchungen der sächsischen Beben dahin ausgesprochen hat, dass die Ausgangspunkte der sächsischen und speziell der vogtländischen Erdbeben der Jahre 1878 bis 1897 an Gebiete grösserer tektonischer Störungen gebunden sind, dass sie selbst deshalb der Gruppe der tektonischen Beben zuzuzählen sind, dass aber die tektonischen Störungen (Dislokationen) jene Gebiete nur zur Erdbebenentstehung prädisponiert haben, während die Erregung der seismischen Tätigkeit selbst in anderen Agentien als dem gebirgsbildenden Druck zu suchen sein dürfte. Dies wird dadurch wahrscheinlich gemacht, dass die sächsischen und mit ihnen die vogtländischen Erdbeben sowohl in ihrer Zahl wie in ihrer Intensität einer gewissen Periodizität unterworfen sind, indem sie sich in beiden Beziehungen konzentrieren: 1. auf den den Winter einschliessenden Jahresabschnitt vom September bis März und zwar namentlich auf die Monate Oktober, November und Dezember, 2. auf den die Nacht einschliessenden Tagesabschnitt von 8 Uhr abends bis 8 Uhr morgens und zwar namentlich auf die Zeit von Mitternacht bis früh 8 Uhr (40). CREDNER selbst bemerkt dann, dass es ein verfrühtes Unternehmen wäre, die Ursächlichkeit der Periodizität der in jenem Zeitraum registrierten sächsischen Beben, also eine etwaige Abhängigkeit von Einflüssen des Klimas, des Luftdruckes, der Niederschlagsmenge schon jetzt erörtern zu wollen und meint, dass ein derartiger Versuch erst dann, wenn ihm die Resultate der noch längere Jahre in dem gleichen Schüttergebiet fortgesetzten Erdbebenbeobachtungen zugrunde gelegt werden können, zu erklärenden Ergebnissen führen mag. Es muss jedenfalls als wünschenswert bezeichnet werden, dass die Frage der jährlichen und täglichen Periode der Erdbeben, welche Periodizität R. FALB als eine wesentliche Stütze seiner Erdbeben-

theorie verwertete, in habituellen Schüttergebieten sorgfältig geprüft werde; ich möchte aber behaupten, dass durch die Feststellung einer solchen Periodizität keineswegs eine tiefer liegende Ursache der jetzt als tektonisch betrachteten Beben wird nachgewiesen werden können, etwa in dem Sinne, dass die magmatische Zone des Erdinnern durch die Anziehung von Mond und Sonne Flutwirkungen unterliegt, die sich dann an den Dislokationen der Erdrinde als Erschütterungen geltend machen.

Eine andere, längere Periode hat W. H. HOBBS, gestützt auf Darlegungen von J. MILNE (41) als Beweis dafür angeführt, dass die Verschiebungen von Gesteinsmassen in der plastischen Zone der Erde, welche sich an den Dislokationen der Rinde als Erdbeben fühlbar machen, auf planetare Ursachen zurückzuführen wären. W. H. HOBBS sagt nach Erörterung des bereits oben besprochenen Versuches, welcher das Eintreten der Erschütterungen auf Bruchlinien versinnlichen soll und nach Besprechung des Umstandes, dass die Erdbebenverwerfungen unverheilten Spalten folgen: „Bis dahin haben wir nur die nächste und unmittelbare Ursache der Erdbeben erörtert. Ihre letzte Ursache ist meist schwerer zu ergründen“. Und nachdem er bemerkte, dass wir in den Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche, die sich durch das Wandern der Strandlinien verraten, Beweise dafür hätten, dass Teile des Magmas innerhalb der plastischen Zone der Erdrinde verschoben würden, sowie, dass es gewiss sei, dass die infolge der Erosion und Fortspülung stattfindenden Massenverschiebungen auf der Oberfläche der Erde vielmehr eine Folge als eine Ursache der Vertikalschwankungen seien (was nebenbei gesagt, mit den durch DUTTON, DE GEER und UPHAM entwickelten Ansichten über die Wirkungen der Isostasie keineswegs vereinbar ist) meint HOBBS: „Der beste Weg, dem Problem der letzten Ursache der Erdbeben näher zu kommen, besteht darin, möglichst zahlreiche Erdbebennachrichten unter dem Gesichtspunkt zu prüfen, ob sie eine merklich ungleiche und deutlich periodische Verteilung der Erdbeben zeigen. Obwohl ausgezeichnete Erdbebenkataloge für Gegenden existieren, in denen Erdbeben häufig sind, haben wir noch keine ausreichenden Daten für die ganze Erde. Weitaus die beste Statistik besitzt Japan; aus ihr scheint hervorzugehen, dass sich seismische Perioden in ungefähr 13 Jahren wiederholen. Eine noch vollständigere Statistik bezieht sich speziell auf die Stadt Kioto. Man will gefunden haben, dass die Aufzeichnungen auf eine seismische Periode von ungefähr $6\frac{1}{4}$ Jahren hinweisen, die also etwa die Hälfte der für das ganze Land geltenden Zeit umfassen würde. Das in den letzten Jahren aufgeblühte Studium der Fernbeben hat uns jetzt eine ziemlich vollständige Statistik der grossen Erdbeben (Makroseismen) verschafft, die sich über eine ganze Anzahl von Jahren erstreckt. Professor MILNE, der Veteran der englischen Seismologen hat sich jüngst dahin ausgesprochen, dass diese Aufzeichnungen eine bestimmte, aber

kürzere Periode seismischer Maxima andeuten, die Richtungsänderungen in der Bewegung des Erdpoles entsprechen. Diese Beobachtung, wenn gut begründet, wie die in Japan gemachten, ist sehr interessant, weil sie die Verschiebung der Gesteinsmassen innerhalb der plastischen Zone der Erde auf planetare Ursachen zurückführt. Man darf mit Spannung einer Aufklärung darüber entgegensehen, ob die bedeutend grössere Masse von Daten, die sich nun sicher in den nächsten Jahrzehnten sammeln muss, das bestätigen wird, was die jetzigen spärlichen Daten nur in undeutlichen Umrissen zu erkennen geben“ (42). Ich möchte glauben, dass in diesen Ausführungen Ursache und Wirkung miteinander verwechselt werden. Die zunächst in Betracht kommenden Unregelmässigkeiten des „EULER'schen Kreises“, in welchem sich der instantane Drehungspol des Planeten um den (vorläufig als stabil gedachten) geometrischen Pol bewegt, werden zweifellos durch Massenverschiebungen in den peripherischen Teilen des Erdkörpers verursacht. Die Wechselbeziehungen zwischen den Variationen geographischer Breite und den heftigeren Erdbeben, welche J. MILNE zuerst (1900) auf dem in Bradford abgehaltenen Kongresse bei Vorlage des „Fifth Report on seismological investigation“ (und seither durch wiederholte Veröffentlichungen) erörterte, die drei Jahre später A. CANCANI in lichtvoller Weise darlegte (43), sind wohl durch die Krustenverschiebungen zu erklären, welche bei Makroseismen stattfinden. Etwa hierbei sich ereignende Verlagerungen in der magmatischen Sphäre würden wohl, der Lehre von der Isostasie entsprechend, lediglich als Folgewirkungen zu betrachten sein. Ich möchte hinzufügen, dass solche Krustenbewegungen nicht bloss eine Verschiebung der instantanen Rotationsachse zu bewirken, sondern auch die Hauptachse der Trägheit, die sogenannte stabile Achse im Innern des Erdkörpers zu verlegen imstande sind. SCHIAPARELLI hat bekanntlich vom Standpunkt des Astronomen gegen solche Verlegungen, selbst wenn sie auf Grund geologischer Erfahrungen in bedeutendem Ausmass angenommen werden müssten, keine Einwendungen erhoben und der amerikanische Astronom CHANDLER hat, wie CANCANI angibt, auf Grund der Untersuchung eines umfassenden Beobachtungsmateriales von 1825—1892 gefunden, dass in der Tat auch die stabile Rotationsachse eine Verlegung erleidet. In einem in der Geologischen Gesellschaft in Wien am 2. Mai 1908 gehaltenen Vortrag habe ich es versucht, die älteren und neueren Ansichten über Verlegung der Erdachse kritisch zu erörtern und habe schliesslich betont, dass wir geologische Vorgänge kennen, welche notwendig zu Änderungen der Polhöhen führen müssen: die gewaltigen Verschiebungen, die wir in immer grösserer Ausdehnung bei der genaueren Untersuchung der Erdrinde kennen lernen. Das Andauern dieser Bewegungen der Lithosphäre wird durch die Erderschütterungen verraten, und die Beziehungen zwischen den Veränderungen der Polhöhen und den Makroseismen lassen die Bedeutung der letzteren erkennen.

Dabei handelt es sich vermutlich nicht so sehr um eine Bewegung der Krustenteile auf einem flüssigen Kern, von dem ja die Geophysik nichts wissen will, als um ausgedehnte Schollenbewegungen in der Kruste selbst. Ich sprach dabei die Überzeugung aus, dass die tangentialen, von untergeordneten Faltungserscheinungen begleiteten Verschiebungen, welche infolge der durch die geologischen Vorgänge bedingten regionären Änderungen der Schwerkraft eintreten, sich in den meisten Fällen nicht bis hinab in die magmatische Zone erstrecken, sondern auf die peripherischen Teile der Kruste beschränkt bleiben dürften (44).

Es sind aber von Seismologen und Vulkanologen in neuerer Zeit vielfach Vermutungen ausgesprochen worden, nach welchen gerade in den tieferen Teilen der magmatischen Zone Verhältnisse herrschen, welche dem Magma unter Umständen die Fähigkeit aktiver Wirkung verleihen sollen. Dieselben gehen von der durch die Versuche von G. TAMANN über das Verhalten einer Reihe von organischen und anorganischen Körpern beim Kristallisieren und Schmelzen unter hohem Druck (45) gestützten Annahme aus, dass in grosser Tiefe eine Zone vorhanden sei, in welcher die Silikate beim Erstarren sich ausdehnen. Dass dies unter den an der Oberfläche herrschenden Verhältnissen nicht möglich ist, haben die ausgedehnten Versuche von BORUS zur Genüge erwiesen. Beweiskräftig ist hier vor allem die Tatsache, dass Diabas von seinem Schmelzpunkt bis zu Temperaturen von 1500°C eine fortwährende Ausdehnung erfährt. Einwände, welche gegen die Beweiskraft der Versuche von BORUS durch A. FLEISCHER (46) erhoben worden sind, hat C. DOELTER als unzutreffend nachgewiesen (47); und auch F. VON WOLFF, der ausgehend von den vor langer Zeit durch C. FR. NAUMANN und F. VON RICHTHOFEN vertretenen Ansichten über eine dem Magma innewohnende vulkanische Kraft und den schon oben gewürdigten Ausführungen BRANCAS über die Unabhängigkeit vulkanischer Eruptionen von prä-existierenden Spalten dem Magma eine aktive Rolle zuerteilt (48), spricht sich bei Erörterung der Energie, die als vulkanische Kraft in Frage kommen kann, dahin aus, dass bei der Kristallisation des Magmas an der Oberfläche trotz mancher entgegengesetzter Behauptungen keine Volumausdehnung eintritt. Durch Erörterung der Beziehungen zwischen Tiefe, Druck und Schmelzpunkt kommt dann v. WOLFF zu dem Ergebnis, dass der maximale Schmelzpunkt erst in einer Tiefe von 150 km zu erwarten ist und leitet daraus folgenden Schluss ab: „Wenn also unter bestimmten Verhältnissen die Kristallisation der Silikate mit einer Volumvermehrung verknüpft ist, so kann das nur für grössere Tiefen jenseits des maximalen Schmelzpunktes, also von mindestens über 150 km zutreffen. Die Erstarrung der Erdkruste muss demnach bis in diese Tiefen vorge-rückt sein, dieselben kommen als Sitz der vulkanischen Kraft allein in Frage, den Vorstellungen von RICHTHOFENS entsprechend.

Wenn man mit A. SCHMIDT, G. GERLAND u. a. den Erregungsort der Makroseismen in so grossen Tiefen vermutet, wird man geneigt sein, dem Magma einer Region unter 150 km Tiefe in der Tat eine aktive Rolle zuzuschreiben. Es fragt sich nun, in welcher Weise sich diese hypothetische vulkanische Kraft betätigen soll. Dampfschüsse, wie sie in den höheren Teilen der vulkanischen Essen erfolgen, können in so grosser Tiefe wohl nicht angenommen werden, da durch den hohen Druck der lastenden Massen eine Betätigung der Spannkraft der das Magma durchtränkenden Liquida gehindert ist. Viel eher könnte man an plötzliche Änderungen des Aggregatzustandes denken, wie sie bei dem plötzlichen Erstarren einer unterkühlten, unter hohem Druck stehenden Silikatschmelze angenommen werden könnte, zumal wenn diese Erstarrung, wie aus den TAMANNschen Versuchen gefolgert wird, mit einer Volumvermehrung Hand in Hand geht. C. DOELTER hat die Erscheinung der Unterkühlung und ihren Einfluss auf die Bildung der Mineralien und Gesteine eingehend erörtert. Er betont, dass viele Mineralien die Eigenschaft haben, dass sie, wenn sie abgekühlt werden, unter ihrem Schmelzpunkt noch weiter flüssig verharren, und dass die Silikate in hohem Grad diese Erscheinung zeigen; ihr Erstarrungspunkt fällt nie mit dem Schmelzpunkt zusammen, sondern kann 100° und sogar noch tiefer unter diesem liegen. „Ähnliche Verhältnisse“ — sagt DOELTER (49) — wirken in der Natur; wenn ein Silikatgemenge sich abkühlt, so ist die Unterkühlung sehr hoch, und was im Tiegel stattfindet, findet auch bei Gängen, vielleicht etwas weniger in Strömen statt, wo durch die Bewegung der Einfluss, den wir im Laboratorium durch Rühren hervorbringen, hervortritt. Solche Schmelzen sind übersättigte, und wenn man durch Aussaat von Impfkristallen die Übersättigung aufhebt, so erfolgt Kristallisation, aber wegen der grossen Viskosität macht sich die Impfwirkung nur auf kleine Strecken bemerkbar. Als Impfkristalle dienen in der Natur, z. B. bei Strömen und Gängen, die in einer früheren intratellurischen Periode gebildeten Ausscheidlinge erster Generation; durch Unterkühlung kann die Reihenfolge verändert werden“. Letztere Frage ist an dieser Stelle von geringerer Bedeutung, von Interesse ist hingegen die weitere Bemerkung DOELTERS: „Sehr grosse Mengen von Wasser und Mineralisatoren können die Unterkühlung zum Teil aufheben, was wahrscheinlich bei Apliten und ähnlichen Gesteinen der Fall war; hier tritt dann plötzliche und gleichseitige Erstarrung des eutektischen Gemisches ein; vielleicht findet Ähnliches bei den Bestandteilen der Quarzporphyrgrundmasse statt“. Solche raschen Erstarrungen können aber wohl nur in den äusseren Teilen der Erdrinde, in Gängen und Apophysen, oder in Ergüssen stattfinden, es scheint mir hingegen sehr unwahrscheinlich, dass in sehr grossen Tiefen ein plötzliches Erstarren beträchtlicher unterkühlter Magmamassen stattfinden kann. Vor allem scheint es mir fraglich, ob in diesen Tiefen überhaupt Unterkühlung in ausge-

dehntem Massstab möglich ist. Ich möchte das deshalb bezweifeln, weil Unterkühlung nur dann stattfindet, wenn die Schmelze im Zustand der Ruhe verharret, was aber bei dem Magma im Erdinnern keineswegs zutrifft. Wir wissen, dass die Makroseismen sich durch den ganzen Erdball fortpflanzen und in grösserer Entfernung vom Ausgangsort durch lange Zeit kleine Bewegungen verursachen, die bei der Registrierung der Fernbeben durch die empfindlichen Seismographen in stundenlanger Dauer aufgezeichnet werden. F. E. SUSS hat gezeigt, auf welche Weise durch diese Bewegungen Fernwirkungen gewaltiger Erdbeben zustande kommen können, wie die bekannten Erscheinungen, die am 1. November 1755 an den Thermalquellen von Teplitz zu beobachten waren und durch das katastrophale Erdbeben von Lissabon verursacht wurden (50); er ist sogar geneigt, einen solchen Einfluss entfernter Beben auf das Wiedererwachen der Tätigkeit schlummernder Vulkane zuzugestehen. Er verweist darauf, dass 1835 Eruptionen des Osorno und des Corcovado zu gleicher Zeit erfolgten mit einem heftigen Erdbeben in dem 400 engl. Meilen entfernten Talcahuano und meint, dass, wenn ein solcher Einfluss, was bis heute noch nicht als erwiesen gelten könne, tatsächlich existiere, man nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse nur an einen ähnlichen Zusammenhang denken könne, wie er zwischen Erdbeben und Thermalquellen bestünde. Die Lehre von der Physik der Eruptionen schreibe den gewaltigen Auftrieb der emporsteigenden Magmen allein der Expansivkraft der durchtränkenden Liquida zu, d. h. dem im Magma gelösten und unter gewissen physikalischen Bedingungen frei werdenden Gase. Die in tiefen Schloten angestauten Lavamassen eines Vulkanes könnten daher unter gewissen Bedingungen durch das lange andauernde Erzittern bei einem entfernten, aber heftigen Erdbeben zu einem stärkeren Aufkochen und zu einer anscheinend spontanen Eruption veranlasst werden. Mir scheinen diese Ausführungen von F. E. SUSS vollkommen zutreffend, und auf den uns hier beschäftigenden Gegenstand angewandt, erweisen sie die Unwahrscheinlichkeit, dass in grösseren Tiefen gewaltige Magma-massen im Zustand der Unterkühlung verharren können, da ja alljährlich die gesamte Masse der Erde durch mehrere Makroseismen in länger dauernde schwingende Bewegungen versetzt wird.

Aus all den vorstehenden Erörterungen geht, wie ich glaube, zur Genüge hervor, dass für mich kein Grund vorliegt, von der Ansicht, die ich schon 1878 in meinen „Erdbebenstudien“ (51) aussprach und dann 1893 in der „Erdbebenkunde“ weiter begründete, abzugehen, dass die vulkanischen Beben gegenüber den viel häufigeren, verbreiteteren und oft ausserordentlich starken tektonischen Beben eine vergleichsweise seltenere und vor allem räumlich beschränktere Erscheinung darstellen.

Ich habe aber noch einer Veröffentlichung zu gedenken, welche deshalb beachtenswerter erscheint, als alle bisher erörterten Versuche,

eine grössere Bedeutung der vulkanischen oder kryptovulkanischen Beben nachzuweisen, weil in derselben zu zeigen unternommen wird, dass die bei einem katastrophalen Beben an der Erdoberfläche tatsächlich beobachteten Dislokationen nicht, wie dies sonst allgemein angenommen wurde, auf tektonische Ursachen, sondern auf vulkanische Vorgänge zurückzuführen wären. Über das gewaltige kalifornische Erdbeben vom 18. April 1906 besitzen wir sehr genaue Nachrichten. Die staatliche Erdbeben-Untersuchungs-Kommission, welcher das Carnegie-Institut die nötigen Mittel bereitgestellt hat, veröffentlichte umfangreiche Berichte, in welchen das Beobachtungsmaterial so vollständig dargelegt wurde, wie es noch bei keinem grossen Beben geschah. In dem ersten 1908 veröffentlichten Report finden sich eingehende Darstellungen über die 1906 eingetretenen Veränderungen und auch über Bodenbewegungen, die vorher, wahrscheinlich bei dem heftigen Beben vom 21. Oktober 1868 in Kalifornien eintraten. Die hierbei erzielten Resultate hat nun A. ROTHPLETZ in ganz anderer Weise zu deuten gesucht als die amerikanischen Geodäten und Seismologen (52). Es handelt sich hier zunächst um den Vergleich der Ergebnisse der erneuten Triangulation des Erdbebengebietes (1906—7) mit den Resultaten zweier früherer Aufnahmen (derjenigen von 1854—66 und 1870—92). Es sind nun schon zwischen den beiden älteren Aufnahmen wesentliche Veränderungen eingetreten, wahrscheinlich veranlasst durch das heftige Erdbeben vom 21. Oktober 1868, über welches C. J. GRIESBACH eingehende Mitteilungen in einer Schrift machte (53), in der er sich auf das Lebhafteste gegen die damals fast allgemein herrschenden plutonischen Erklärungen der Erdbeben wendete, die nun anlässlich eines neuerlichen in derselben Gegend erfolgten Bebens in veränderter Form ihre Auferstehung feiern. Auch der Bericht der zur Untersuchung des Bebens von 1906 eingesetzten Kommission kommt auf dieses Beben von 1868 zurück, über das seinerzeit ebenfalls ein Bericht verfasst, aber leider nicht veröffentlicht wurde und vollständig verloren ging. Die Geodäten J. F. HAYFORD und A. L. BALDWIN haben angenommen, dass die Differenzen der beiden ersten Aufnahmen dadurch zu erklären seien, dass im Norden von San Franzisko bei dem Beben von 1868 ein Gebiet von rund 2500 Quadratkilometern um 1,6 m in der Richtung N 10° W verschoben worden sei, während die alte Triangulierungsbasis Mocho-Monte Diabolo unverändert blieb, ebenso wie dies bei den weiteren, 1906 erfolgten Veränderungen der Fall war (54). ROTHPLETZ sucht nun den Beweis zu führen, dass die Ortsveränderungen, welche im Norden von San Franzisko vor 1906 eingetreten sind, nicht das Bild einer einfachen Schollenverschiebung geben — wobei er sich besonders darauf beruft, dass die einzelnen Bewegungsrichtungen bis zu 30° voneinander abweichen — sondern das einer durch Ausdehnung sich vergrössernden Fläche. Im Süden von San Franzisko ist Loma Grieta der einzige Punkt, für den mit Sicherheit eine vor der zweiten Tri-

angulation stattgefundenen Verlagerung mit 3 m in S 53° O nachgewiesen werden konnte, während für andere Punkte nur annähernde Bestimmungen vorliegen. In einer Übersichtskarte der Ortsveränderungen vor 1906 bringt ROTHPLETZ die vor diesem Zeitpunkt eingetretenen Bewegungen zur Anschauung, er fasst das Bild, welches sie gewähren, mit folgenden Worten zusammen: „Rings um die Bucht von San Franzisko haben kleine aber messbare Verschiebungen der Erdoberfläche stattgefunden. Nur die Halbinsel, auf der die Stadt steht, scheint daran keinen Anteil genommen zu haben. Von diesem Zentrum aus gingen die Bewegungen nach allen Richtungen auseinander, aber sie waren nur schwach gegen Osten und Nordosten und nahmen an Bedeutung zu gegen NW und SO, wo sie ihr Maximum erreichten“, und folgert daraus: „Die von diesen Bewegungen betroffene Oberfläche hat sich also ausgedehnt, am meisten in der NW-SO Richtung, am wenigsten gegen NO und vielleicht auch gegen W“. Ich muss gestehen, dass mich die Ausführungen ROTHPLETZ's durchaus nicht davon überzeugten, dass seine Auffassung der Ortsveränderungen des kalifornischen Erdbebengebietes, die vor 1906 eintraten, vollkommen richtig und der von ihm den Geodäten HAYFORD und BALDWIN gemachte Vorwurf, sie seien bei ihrer Darstellung dieser Lageänderungen unter dem Einfluss einer Zwangsvorstellung gestanden, die ihnen durch die Bewegungsart von 1906 auferlegt worden wäre, berechtigt sei. Überdies macht ROTHPLETZ selbst darauf aufmerksam, dass A. C. LAWSON der Meinung ist, dass die Ortsveränderungen der ersten Zwischenzeit (1866—70) nicht auf das Erdbeben von 1868 bezogen werden dürfen, dass sie überhaupt nicht plötzlich, sondern ganz langsam, in einem Zeitraum von vielleicht 32 Jahren entstanden seien und auch dann noch weiter anhielten, 16 Jahre lang bis 1906 (55). Dann wären übrigens auch die für 1906 ermittelten Bewegungswerte ungenau, und es wäre nur dann eine genaue Feststellung derselben möglich gewesen, wenn unmittelbar vor dem Beben eine Vermessung stattgefunden hätte.

ROTHPLETZ erörtert drei Erklärungsmöglichkeiten für die angeblich im kalifornischen Erdbebengebiet vor 1906 erfolgte Ausdehnung: 1. Es hätte das in Rede stehende Gebiet früher durch tangentialen Druck eine Zusammenpressung erlitten und könnte sich weiter ausgedehnt haben als dieser Druck nachliess. 2. Eine mässige Erwärmung, eine Hebung der Isothermen von 3—4° würde genügen, um die Ausdehnung von beinahe 1 : 30 000 zu erklären. Er macht gegen diese beiden Hypothesen verschiedene Einwände zugunsten einer dritten, dass in die die Oberflächenschichten tragende Unterlage magmatische Intrusionen von unten her eingedrungen seien, durch die diese Unterlage in horizontaler Richtung auseinander getrieben wurde. Er erörtert dann die Ursachen der Ortsveränderungen, welche bei dem Erdbeben 1906, wenn nicht alle, so doch viele, unzweifelhaft „mit einem Ruck“ eingetreten sind und über welche

ein viel grösseres Beobachtungsmaterial vorliegt, als für die älteren Bewegungen. Auch hier hat ROTHPLETZ eine Übersichtskarte gegeben, welche die 1906 eingetretenen Bewegungen veranschaulicht. Ich kann nicht finden, dass diese Karte eine deutliche Sprache zugunsten der durch ROTHPLETZ vertretenen Intrusionshypothese redet, im Gegenteil scheint sie mir die sonst über die Natur der Bewegungen an der grossen Bebenlinie von 1906 ausgesprochenen Meinungen zu bekräftigen, dass die an diese Bruchlinie aneinanderstossenden Schollen der Erdrinde in entgegengesetztem Sinne bewegt wurden. Dass die Bewegungen an der Erdoberfläche nicht überall das gleiche Mass hatten und so manche Unregelmässigkeiten vorkamen, ist wohl erklärlich, auch ohne dass man zu den von ROTHPLETZ behaupteten Intrusionsvorgängen Zuflucht nimmt.

Ich möchte nicht auf alle Schwächen der ROTHPLETZschen Injektionshypothese eingehen, sondern nur auf diejenigen, die er selbst der Erörterung wert hält, und das sind diejenigen, die sich auf den zeitlichen Zwischenraum zwischen Injektion und Erderschütterung und auf die Herdtiefe beziehen.

ROTHPLETZ's Hypothese setzt voraus, dass die primäre Ursache der Ortsveränderungen in unterirdischen Injektionen liege. Er selbst hält es für notwendig, zur Zeitdauer, die diese Injektionen erforderten, Stellung, zu nehmen, und meint, dass der vulkanische Herd, von dem sie aufstiegen, jedenfalls in bedeutender Tiefe liegen müsse, und je nach Belieben (sic!) könne man mit 20 oder mehr Kilometern rechnen. Ginge man von dem allerdings nicht sehr wahrscheinlichen Minimum von 20000 m aus, so ergebe sich schon da, dass die Injektionsmassen den weiten Weg bis nahe an die Erdoberfläche keinesfalls in wenigen Sekunden zurücklegen konnten. Da das ganze Erdbeben nur eine Minute gedauert habe, so könne es gewiss nicht unmittelbar durch die Injektion selbst verursacht worden sein. Merkliche Erderschütterungen seien demselben aber nicht vorausgegangen, und es erscheine daher wahrscheinlich, dass der Injektionsvorgang selbst nicht mit deutlich sichtbaren Erschütterungen verknüpft war. Wäre er aber ein rascher, gewissermassen explosionsartiger gewesen, so hätte er sicherlich zu Erschütterungen führen müssen. „Also“ — folgert ROTHPLETZ — „dürfen wir annehmen, und das gilt natürlich auch für die Injektionen, die dem Erdbeben von 1868 vorausgingen, dass die Injektionsmassen langsam aufstiegen, und die damit verknüpfte Ausdehnung in der Erdkruste ebenfalls langsam zustande kam. Durch sie wurden die Druckspannungen in der Erdkruste erzeugt und das Erdbeben gewissermassen vorbereitet, das erst eintrat, als durch Zerreißen der S. Andreas-Spalte die Spannungen ihre Auslösung fanden, und im Sinne der Injektions-Hypothese liegt es somit, dass sowohl durch die Spaltenzerreissung als auch durch die vorhergehende Injektion Ortsveränderungen entstanden sind, und dass sie sich zu den Verlagerungen summiert haben, welche nach dem

Erdbeben gemessen worden sind.“ Es würde sich sonach, wenn wir die von ROTHPLETZ aufgestellte Injektionshypothese akzeptieren wollten, um zwei zeitlich verschiedene Vorgänge handeln: Erstens um die längere Zeit in Anspruch nehmende, Spannungen erzeugende Injektion, zweitens um eine plötzliche, an der Erdoberfläche als heftige Erschütterung sich geltend machende Auslösung dieser Spannungen. Von der Erklärung des kalifornischen Bebens als eines tektonischen, im vollsten Sinne des Wortes, wie sie nicht bloss von den amerikanischen Autoren, sondern auch von OMORI vertreten wird (56), weicht also die von ROTHPLETZ aufgestellte Hypothese eigentlich nur insoferne ab, als die Ursache der Spannungsbildung nicht in tektonischen, sondern in vulkanischen Vorgängen gesucht wird. Darauf, dass die von ROTHPLETZ vorausgesetzten Injektionen unmöglich eine Verschiebung der an der Bruchspalte aneinander grenzenden Schollen in der Weise wie sie tatsächlich im April 1906 eingetreten ist, herbeiführen konnten, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Bezüglich des Erdbebenherdes von 1906 sagt ROTHPLETZ, dass man, obwohl die elastischen Schwingungen des Bebens gewiss dem plötzlichen Zerreißen der Spalte zuzuschreiben sind, doch nicht berechtigt sei, die ganze Fläche, auf der diese Zerreißung eintrat, als den eigentlichen Herd zu bezeichnen. Als solcher dürfe nur der Teil gelten, wo die Zerreißung zuerst eingetreten sei, der Herd könne daher nicht nahe der Oberfläche liegen, denn die Injektionen seien nicht soweit emporgedrungen; man müsse den Herd in der Wurzelregion derselben, also nahe dem vulkanischen Herd suchen, in jener Tiefe, wo auf der Spalte durch die Injektionen ein Maximum von Druckspannungen erzeugt worden sei: „Da diese Gleichung zwei numerisch unbekannte Grössen enthält, so lässt sich aus ihr ein zahlenmässiger Wert für die Herdtiefe nicht ableiten. Ob das Studium der Seismogramme zu einer grossen Tiefenbestimmung führen kann, wird uns erst der noch nicht erschienene zweite Band des Reports lehren.“ Dieser zweite Band ist mittlerweile erschienen (57); ich muss es ROTHPLETZ überlassen, sich mit den darin durch H. E. REID gegebenen Daten und Ansichten in ähnlicher Weise auseinanderzusetzen, wie er dies mit dem im ersten Bande niedergelegten Beobachtungsmaterial getan hat. Ich möchte mich auf die Bemerkung beschränken, dass ROTHPLETZ mit Unrecht von dem kalifornischen Beben behauptet: „Das Eigenartigste dieses Erdbebens liegt ohne Zweifel in der Bodenbewegung, welche in dieser Form bisher noch bei keinem anderen Beben beobachtet zu sein scheint.“ Ich vermag einen wesentlichen Unterschied gegenüber den Bewegungen bei dem grossen japanischen Beben von 1891, welches B. KOTŌ zum Gegenstand einer sorgfältigen Untersuchung gemacht hat (58), nicht zu erkennen; in beiden Fällen handelt es sich zweifellos um gegenseitige Verschiebung angrenzender Schollen der Erdrinde auf langen

Bruchlinien, die unmöglich durch magmatische Intrusionen erklärt werden können.

Schliesslich möchte ich betonen, dass das Problem der „krypto-vulkanischen“ oder der „vulkanischen Beben im weiteren Sinne“ zwar von seiten der Geologen, wie aus den vorstehenden Ausführungen hervorgeht, vielfach erörtert, aber einer definitiven Lösung nicht wesentlich näher gebracht wurde. Nach meiner Meinung haben in dieser Frage auch zunächst nicht die Geologen, sondern die Geophysiker zu entscheiden und zwar auf Grund einer Erweiterung und Vertiefung der seismographischen Beobachtungen. Es scheint ein Irrtum zu sein, dass auf Grund der rechnerischen Verwertung aus diesen Beobachtungen ausserordentlich grosse Herdtiefen abgeleitet wurden und M. P. RUDZKI macht neuerdings (1911) darauf aufmerksam, dass vielfach mit anderen Methoden geringere Tiefen berechnet wurden (59). So ergab sich auf Grund der von G. B. RIZZO zusammengestellten Daten die Tiefe des Hypozentrums des kalabrischen Erdbebens von 1905 zu 4,5 bis 11 km — der wahrscheinlichste Wert dürfte 7 km betragen —. Unter Zugrundelegung der Daten von F. OMORI ergab sich die Tiefe des Hypozentrums für das Erdbeben von San Franzisko zu 16,5 bis 32,4 km. RUDZKI erörtert auch die Methoden, welche diesen Berechnungen zugrunde liegen — wegen der näheren Einzelheiten verweist er auf eine von ihm 1907 über die Herdtiefenbestimmung veröffentlichte Abhandlung (60) — er bespricht die Mängel dieser Methoden und fällt schliesslich folgendes Urteil: „So unsicher die Methoden zur Bestimmung der Tiefe des Hypozentrums sind, in einem stimmen sie überein: sie geben immer kleine Tiefen — einige oder mehrere, selten hundert oder mehr Kilometer. Nur die Methode ALFRED SCHMIDTS weicht von den übrigen ab, sie gibt immer grosse Tiefen, so z. B. für das Erdbeben von Charleston (31. August 1886) 107 km, während die Methode DUTTONS nur 19,3 km ergab. Für das kalabrische Erdbeben von 1905 ergab die Methode SCHMIDTS sogar einige hundert Kilometer. Dem können wir nicht beistimmen, vielmehr halten wir die Übereinstimmung der Resultate anderer Methoden für überzeugend und glauben, dass die grossen zerstörenden Beben ihren Sitz in der Erdrinde haben. Von kleinen, schwachen Stössen kommen die meisten gewiss ebenfalls aus geringen Tiefen, obgleich es auch solche geben kann, die aus grösseren Tiefen kommen. Wir können aber nichts Bestimmtes sagen, indem bei schwachen Stössen die Anhaltspunkte zur Bestimmung der Hypozentrumtiefe in der Regel zu spärlich sind.“

Auch für das kroatische Beben vom 8. Oktober 1909 hat A. MOHOROVIČIĆ eine geringe Herdtiefe berechnet (61).

Es steht mir nicht zu, über diese Untersuchungen der Physiker und Seismologen ein Urteil abzugeben, ich möchte nur der zuversichtlichen Hoffnung Ausdruck geben, dass es, wie schon an früherer

Stelle bemerkt, durch genaue Untersuchung von Nahbeben mittelst ausreichender seismographischer Aufzeichnungen und rechnerischer Verwertung derselben gelingen wird, die Herdtiefen solcher Beben unzweifelhaft festzustellen und dadurch Anhaltspunkte für die Lösung von Fragen zu gewinnen, welche durch geologische Hypothesen allein nicht mit Sicherheit zu beantworten sind.

B. Unter der Redaktion der deutschen geologischen Gesellschaft.

Fortschritte in der geologischen Erforschung Schleswig-Holsteins.

Von C. Gagel.

Literatur.

Eine sorgfältige Darstellung der Geologie Schleswig-Holstein findet sich neuerdings in:

R. STRUCK: Übersicht der geologischen Verhältnisse Schleswig-Holsteins. Festschrift zur Begrüßung des XVII. Deutschen Geographentages Lübeck 1909. Hierin ist auch ein ziemlich vollständiges Literaturverzeichnis bis 1909 enthalten.

Eine weitere ähnliche Literaturzusammenstellung findet sich in:

CH. HEIN: Die Literatur zur Geologie Schleswig-Holsteins seit 1888. Schriften des Naturw.-Vereins für Schleswig-Holstein XV. 1.

Nachzutragen ist zu der Zusammenstellung STRUCKS:

V. FISCHER-BENZON: Die Moore der Provinz Schleswig-Holstein. Hamburg 1891

FRIEDRICH: Beiträge zur Geologie Lübecks (Mitt. geogr. Ges. Lübeck. 1910).

— Der Geologische Aufbau der Stadt Lübeck und ihrer Umgebung. Festschrift für den XVII. Deutschen Geographentag Lübeck 1909.

GAGEL: Geolog. Notizen von der Insel Fehmarn und auf Wagrien II. J. pr. geol. L. A. für 1908. Bd. 29. p. 410—431. (Eozän, Oberes Diluvium).

— Zur Geologie Schleswig-Holsteins, ebenda 1909. 30. II. 227—228.

— Über die Lagerung von Diluvium und Tertiär bei Itzehoe, Rensing und Innien. ebenda 1910. Bd. 31. II. p. 66—80.

— Die sogenannte Ancylushebung und die Litorinasenkung an der deutschen Ostseeküste, ebenda 1910. 31. II. 203—226.

— Die Entstehung des Travetales. Ein Beitrag zur Frage der Talbildung und der postglazialen Landsenkungen, ebenda 1910. 31. II. 168—192.

— Die Gliederung des Schleswig-Holsteinschen Diluviums, ebenda 1910. 31. II. 133—252.

— Einige Facettengeschiebe aus der oberen Grundmoräne Lauenburgs. Z. d. D. Geol. G. 1909. 61. p. 64—65.

— Das älteste Diluvium Sylts ebenda 1910. 62. p. 81—84.

— Über den angeblichen Gault bei Lüneburg und die Verbreitung der Gault nach N und O. Zentralbl. f. Min. 1909. S. 159. (Helgoland.)

— Das marine Diluvium und die pflanzenführenden Interglazialschichten Norddeutschlands. Z. d. D. Geol. G. 1910. 62. S. 686—694.

— Interglaziale Verwitterungszonen in Schleswig-Holstein, ebenda 1910. 62. p. 322—326.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Hoernes Rudolf

Artikel/Article: [II. Besprechungen. A. Unter der Redaktion der Geologischen Vereinigung. Kryptovulkanische oder Injektionsbeben 381-410](#)