

Überreicht vom Verfasser.

SITZUNGSBERICHTE

1917.
XXVIII.

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 7. Juni.

Über die Bedeutung der magmatischen Erdbeben
gegenüber den tektonischen.

Von W. BRANCA.

Über die Bedeutung der magmatischen Erdbeben gegenüber den tektonischen.

VON W. BRANCA.

Inhalt: Einleitung. I. Tektonische Beben. II. Magmatische Beben und kombinierte tektonisch-magmatische Beben. A. Magmatische Explosionsbeben. B. Magmatische Intrusionsbeben. C. Magmatische Kristallisationsbeben. III. Das verhältnismäßige Alter der verschiedenen Bebenarten. IV. Ein möglicherweise unterscheidendes Merkmal zwischen tektonischen und magmatischen Beben. V. Niveauveränderungen infolge von Beben. VI. Vorrichtungen zum Nachweis von Niveauveränderungen der Erdoberfläche.

Einleitung. Ein Jahrhundert ist jetzt vergangen seit A. von HUMBOLDT und L. von BUCH die Lehre aufstellten, daß den magmatischen Massen die Kraft innewohne, sich selbst Auswege aus der Tiefe zur Oberfläche zu schaffen. Die angeblichen Beweise aber, die dafür geltend gemacht wurden, erwiesen sich als nicht stichhaltig und das Ganze war so mit phantastischem Beiwerk umkleidet, daß die Meinung der Geologen allmählich in das diametrale Gegenteil umschlug: Nun sollte das Magma ganz unfähig sein, sich selbst Auswege zu schaffen; und nur da, wo die gebirgsbildenden Kräfte ihm Auswege eröffneten, also auf offenen Spalten, könnte das Aufsteigen erfolgen.

Es war mir aber dann möglich, bei den gegen 125 Vulkanembryonen der schwäbischen Alb zu zeigen, daß hier jene letztere Ansicht nicht zutrefte, daß hier vielmehr das Magma sich selbsttätig Durchbruchsröhren, wenigstens durch den oberen Teil der Erdrinde, ausgeblasen habe. Bis in wie große Tiefe hinab und ob nicht in der Tiefe doch zugleich auch eine Spalte das Aufsteigen ermöglicht habe, das entzog sich, wie ich hervorhob, dem Beweise. Aus der Literatur aber konnte ich ähnliche Verhältnisse an einer ganzen Anzahl anderer Orte, hier als sicher, dort als wahrscheinlich, anführen. Die Ansicht von der alleinigen Allmacht der Tektonik bei dem Ausbruch der Magmamassen war damit gebrochen.

Auch über die Entstehung der Erdbeben haben bekanntlich die Ansichten gewechselt. Wie aber dort die Tektonik über die Selbstherrlichkeit des Vulkanismus gesiegt hatte, so ist auch hier die An-

sicht herrschend geworden, daß die ganz überwiegende Zahl aller Erdbeben tektonischen Ursprungs sei. In ähnlicher Weise wie dort möchte ich nun hier auch beziehentlich der Erdbeben die Gründe darlegen, die meiner Ansicht nach dafür sprechen, daß ein nicht unbedeutender Teil der angeblich tektonischen Erdbeben in Wirklichkeit magmatischen Ursprungs ist, daß also auch bei dem Zustandekommen der Beben die magmatischen Kräfte eine viel größere Rolle spielen als ihnen von den Geologen im allgemeinen zugeschrieben wird. Wie dort die tektonischen Spalten von ihrer angeblich allein wirksamen Rolle an Gewicht verloren haben, so müssen hier auch die tektonischen Erdbeben etwas von ihrem bisherigen Übergewicht verlieren¹. Freilich, dort konnte ich Beweise dafür erbringen, hier kann ich nur Wahrscheinlichgründe dafür geben.

I. Tektonische Beben werden hervorgerufen entweder durch bloßes Aufreißen einer neuen Spalte, bezüglich durch Verlängerung einer bereits bestehenden in der festen Erdrinde, oder durch Schollenbewegung nach abwärts, aufwärts oder seitwärts längs dieser soeben entstandenen oder längs bereits von früher her bestehender Spalten. Es folgt daraus, daß der Herd der tektonischen Beben vor allem innerhalb derjenigen verhältnismäßig geringmächtigen Tiefenzone liegen muß, in der ganz feste, noch nicht in den latent-plastischen Zustand versetzte Gesteine auftreten; und daß er möglicherweise und höchstens dann auch noch in der auf jene erstere folgenden Tiefenzone liegen könnte, in der halbfeste, d. h. latent-plastisch gewordene Gesteine, sich befinden. Der Herd eines tektonischen Bebens darf somit höchstens gesucht werden von der Erdoberfläche an einmal und vor allem bis hinab zu der Maximaltiefe, in der die Gesteine beginnen, latent-plastisch zu werden; und dann eventuell weiter bis zu der zweiten Maximaltiefe, in der die Gesteine Schmelztemperatur haben, wenn sie auch infolge des allseitigen Druckes und so lange dieser währt, nicht flüssig sind. Alle Erschütterungen, die unterhalb dieser zweiten Maximaltiefe entstehen, können nicht mehr tektonische Beben sein.

Welche Maximaltiefe ist nun diese letztgenannte, bei der Schmelztemperatur herrscht? Über die Wärmezunahme nach dem Erdinnern in größeren Tiefen sind wir bekanntlich nur sehr ungenügend unterrichtet. Nehmen wir aber einmal an, die Temperatur wachse bis zu 40 km Tiefe proportional mit der Tiefe, und sie betrage pro 100 m

¹ Ich habe die Notwendigkeit einer solchen Verschiebung unserer Anschauungen schon früher betont (W. BRANCA, Wirkungen und Ursachen der Erdbeben, Universitätsprogramm, Berlin 1902, S. 75—85). Auch andere haben das getan (A. SCHMIDT, GERLAND, MILNE); aber das sind nur vereinzelte Stimmen.

3 ° C¹, so würden in 30—40 km Tiefe 900—1200 ° C herrschen, d. h. ungefähr Schmelztemperatur der verschiedenen Gesteinsmischungen. Wenn auch deren Schmelztemperatur allerdings durch Druck erhöht wird, so beträgt das doch nicht so viel, um diese ohnehin doch nur sehr ungefähre Berechnung nennenswert abzuändern. Wir wollen daher einmal für die folgende Betrachtung diese Zahlen als genau richtig gelten lassen, was sie natürlich nicht sind.

Die größte Tiefe, bis zu der hinab hier der Herd eines tektonischen Bebens höchstens liegen dürfte, wäre somit 30—40 km. Aber lange bevor diese zweite Maximaltiefe erreicht wird, in der die Gesteine Schmelztemperatur haben, wird jene erste Maximaltiefe erreicht sein, bei der aller Wahrscheinlichkeit nach ihr latent-plastischer Zustand (A. HEIM) beginnt, in den sie durch den senkrechten Druck der auflastenden Schichten und durch den horizontalen Gewölbedruck in der Erdrinde versetzt werden. Dieser Zustand bewirkt es, daß sie nicht wie die spröden Gesteine jener oberen Zone zerreißen, sondern, sobald Unterschiede des Druckes an verschiedenen Stellen lange anhaltend auftreten, sich langsam verschieben, so daß es mehr ein reibungsarmes weiches Fließen plastischer Schollen aneinander vorbei, als ein hartes Reiben fester Schollen aneinander sein kann, denn dazu gesellt sich doch noch ein Zweites: Mit wachsender Tiefe nimmt ja die Temperatur zu, die Gesteine dieser tieferen Zone der Erdrinde werden daher wärmer und wärmer und damit weicher und weicher, je mehr sie sich der 30—40-km-Tiefe nähern; und dieser Zustand wird abermals verstärkt, wenn wir sie uns durchtränkt vorstellen mit immer heißer werdendem Wasser und später Wasserdampf.

Bei einem solchen Zustande wird daher, sobald Schollenbewegungen aus der festen, spröden, oberen Gesteinssphäre hinabgreifen in diese untere, latent-plastische und wärmeerweichte Sphäre, hier unten wohl kaum in gleicher Weise wie dort oben ein plötzliches Aufreißen von Spalten eintreten und kaum in gleicher Weise ein plötzliches Verschieben der Schollen, beides verbunden mit großer Reibung und Erschüttern, sondern mehr oder weniger nur ein Gleiten plastischer Massen aneinander hin; und das alles in um so stärkerem Maße, je tiefer diese Massen sich befinden.

Es scheint mir daher auf der Hand zu liegen, daß in dieser latent-plastischen und wärmeerweichten Zone, *ceteris paribus*, eine durch solchen Vorgang bewirkte Erschütterung wesentlich geringer sein und mit wachsender Tiefe immer geringer werden muß, als in der oberen spröden Zone, unter Umständen sogar vielleicht gar nicht mehr nennens-

¹ Also Tiefenstufe 33,33 ... m.

wert sein wird. Immerhin aber wird man auch ein solches Aneinandervorübergleiten dieser latent-plastischen Massen doch noch als einen tektonischen Vorgang und seine Folgewirkung, sobald eine Erschütterung damit verbunden ist, als ein tektonisches Beben bezeichnen müssen; denn gleichviel, wodurch Schollen der Erdrinde entstehen, ob durch Abkühlung und Kontraktion der ganzen Erde, ob durch isostatische Bewegungen, ob durch Verlegung der Rotationsachse, ob durch einen Wechsel zwischen Beschleunigung und Verlangsamung der Umdrehungsgeschwindigkeit, ob durch irgendwelche andere Ursache, und gleichviel, wie tief die Schollenbewegung hinabgreift — sobald noch eine Erschütterung durch die Schollenentstehung und -bewegung hervorgerufen wird, wird man das als ein tektonisches Beben bezeichnen müssen.

Immerhin aber wird man diesen Unterschied in der Wirkung der Verschiebung der Schollen betonen müssen: In der oberen Zone ist sie verbunden mit starker Reibung und daher typische tektonische Beben erzeugend; in der unteren Zone ist sie mehr und mehr in ein sanfteres Aneinandervorübergleiten übergehend, so daß das beben erzeugende Moment der Reibung der Schollen schwächer und schwächer wird, bis es zuletzt ganz erlischt.

Es wären daher zwei wichtige Aufgaben festzustellen: In welcher Tiefe für jede einzelne Gesteinsart die latente Plastizität beginnt, und wie mit wachsender Temperatur die Weichheit bei trockenen und bei durchwässerten Gesteinen wächst. Diese Fragen sind für Erdbebenforschung ebenso wichtig, wie sie es für Vulkanologie darum ist, weil innerhalb der Zone der latenten Plastizität schwerlich ein Aufreißen von eigentlichen Spalten und noch viel weniger ihr Offenbleiben, falls dennoch solche vorübergehend aufreißen sollten, stattfinden kann.

Es haben zwar ADAMS und NICHOLSON bekanntlich für Kalkstein, bezüglich Marmor, und später auch für Silikate (Granit, Diabas, Essexit) unter hohem Druck eine Plastizität nachgewiesen. Aber diese Plastizität bestand doch beim Marmor offenbar nur in einer Verschiebung längs der zahllosen Gleitflächen der Kalkspatkristalle, wie solche den betreffenden Silikatmineralien fehlen; und bei den untersuchten Silikatgesteinen bestand sie, wie mir scheint, nur in einer Umformung durch Bruch, denn die Festigkeit der Gesteine war nachher vermindert. Dagegen bruchlose Umformung der Gesteine unter hohem Druck — jene Forderung der bekannten Anschauung A. HEMS, die übrigens wohl von allen Technikern ohne weiteres geteilt wird — ist experimentell, trotz jener schönen Versuche, immer noch nicht erwiesen, wenn sie uns auch durch das Verhalten der gefalteten Silikatgesteine in der Natur vor Augen geführt wird.

II. Magmatische Beben haben ganz andere Ursachen als die tektonischen; und auch bezüglich der Tiefe, in der sie auftreten, zeigen sich gegenüber den tektonischen Beben Unterschiede. Die tektonischen sind, wie oben angeführt, vornehmlich in der oberen Zone, in der der spröden festen Gesteine, heimisch und können sich abschwächend auch in der unteren, in der latent-plastischen Zone sich vollziehen; sie finden also ihre untere Grenze in der 30—40-km-Tiefe. Magmatische Beben dagegen sind in der Tiefe unterhalb der 30—40-km-Zone heimisch, können aber ebenso auch innerhalb der festen Erdkruste entstehen, bis hinauf zur Erdoberfläche; denn vulkanische Beben gehören ja ebenfalls zu den magmatischen, wie ich weiter unten eingehender besprechen werde.

Kombinierte tektonisch-magmatische Beben. Sobald rein tektonische Bewegungen, also Schollenverschiebungen, auf das Magma einwirken, also in das Magma hinein sich fortpflanzen, können die dann entstehenden Beben zusammengesetzter Natur sein, indem die Erschütterungen gleichzeitig hervorgerufen werden können (nicht müssen), bei der Schollenbewegung durch Reibung, bei der Magmabewegung durch Explosion bezüglich Druck oder andere Wirkungen des Magmas. Ich möchte also unterscheiden »rein tektonische« Beben; sodann »rein magmatische« Beben; endlich »kombinierte tektonisch-magmatische« Beben, bei denen letzteren entweder die tektonische oder die magmatische Komponente bezüglich Ursache vorwalten, oder aber beide im Gleichgewicht sein können.

Der nächstliegende Gedanke bei der Vorstellung solcher kombinierten tektonisch-magmatischen Beben ist natürlich, daß man sie zu suchen habe nur unterhalb der 30—40-km-Zone. Indessen eine solche Beschränkung auf eine sehr tiefliegende Sphäre wäre ganz irrtümlich, denn sie können auch in viel höheren Niveaus ihren Sitz haben: Das Magma verharret ja nicht bloß in der Tiefe unterhalb 30 bis 40 km, sondern kommt auch aus dieser an zahlreichen Orten herauf und nistet sich hierbei in allen Niveaus dieser 30—40 km mächtigen Erdkruste ein, bis hin zur Erdoberfläche und erzeugt dabei magmatische Erdbeben innerhalb derjenigen Zone, die wir bei oberflächlichem Zusehen lediglich für die Entstehung tektonischer Beben beanspruchen möchten. Es folgt daher, daß die magmatischen Beben eine größere Unabhängigkeit von der Höhenlage in der Erde besitzen als die tektonischen; und es folgt weiter, daß der Begriff dessen, was ich »magmatische« Beben nenne, ein weiterer ist, als der der »kryptovulkanischen« Beben; denn er umfaßt diese letzteren und die »vulkanischen«. Die vulkanischen Beben sind ja auch

nur magmatischer Natur, denn die Äußerungen des Magmas im Schmelzherde und im Schlotte des Vulkanberges sind doch ziemlich dieselben wie im tiefer gelegenen Schmelzherde (Intrusionsmassen) und wie im noch tiefer, unter der Erdrinde, gelegenen Magma.

Da die verschiedenen Aggregatzustände in der Tiefe nicht scharf von einander geschieden sind, sondern allmählich ineinanderübergehen, so folgt, daß auch aus diesem Grunde die tektonischen Beben nach der Tiefe hin allmählich in magmatische übergehen werden.

Wie ich bei den tektonischen Beben zwei Zonen unterschieden habe, so möchte ich bei den magmatischen Beben drei Zonen unterscheiden: In der oberen Zone der allgemeinen magmatischen Teufe findet durch Verschiebung der darüberliegenden Erdrindeschollen wohl auch eine Verschiebung des darunterliegenden Magmas statt, so daß dieses durch seine Äußerungen bei dem Beben mitwirkt; denn ein starkes Absinken einer Scholle ist ja nur denkbar, wenn ihr unten Platz gemacht wird, und es wird meistens schließlich das Magma sein, das nach der Seite und nach oben hin ausweicht. Es wird hier also ein »kombiniertes« Beben entstehen können. In noch größerer Tiefe, bis in die hinab die Verschiebung der festen Schollen nicht mehr verschleibend auf das Magma einwirkt, werden dagegen nur rein magmatische Beben entstehen können. Nun gibt es aber noch ein Drittes: Oben, in der Erdrinde, also bis hinab zu 30—40 km Tiefe, befinden sich zahlreiche Schmelzmassen, die in höherem Niveau liegen als das allgemeine Magma. Hier werden sich ebenso wie in der oberen magmatischen Teufe Schollenbewegungen auf das intrudierte Magma fortpflanzen können; es werden also auch hier, in der Erdrinde, (neben rein tektonischen) entweder rein magmatische Beben oder kombiniert tektonisch-magmatische entstehen können.

Diese Trennung des Magmas in eine unter der Erdrinde liegende allgemeine innere Schmelzmasse¹ und in kleinere Schmelzseen, die in allen Niveaus der Erdrinde stecken, scheint eine notwendige Annahme zu sein. Das Dasein dieser Schmelzseen in der Erdrinde wird ja erwiesen durch das Dasein zahlreicher Tiefengesteine, also erstarrter ehemaliger Schmelzseen. Das Dasein einer allgemeinen inneren großen Schmelzmasse aber läßt sich zwar nicht erweisen; es ist indessen eine logische Folgerung der Ansicht, daß es nach der Tiefe hin immer wärmer wird.

Die Vorgänge in dem Magma, durch die von ihm ein Beben erzeugt werden kann, müssen offenbar völlig anderer Art sein als die

¹ Gleichviel ob sie durch Druck festgepreßt ist, sie hat doch Schmelztemperatur und ist eine Schmelzmasse, da sie sofort flüssig wird, sobald der Druck aufgehoben wird.

Vorgänge, durch die ein tektonisches Beben entsteht. Bei den tektonischen Beben verschieben sich in der festen spröden Zone die Schollen, es entsteht also Reibung oder nur, in der latent-plastischen, wärmeerweichten Zone, ein sanfteres Aneinanderentlanggleiten. Bei den magmatischen Beben entsteht keine Reibung, sondern entweder Explosion und zwar auf dreierlei verschiedene Weise; oder es entsteht beim Kristallisieren in höheren Niveaus Zusammenziehung, in tieferen aber Ausdehnung (TAMMANN); oder es erfolgt Ausdehnung des Nebengesteins beim Erwärmtwerden durch das Magma; oder Zusammenziehung des intrudierten Magmas sowie des Nebengesteins beim Wiederabkühlen; oder endlich Empordrängen bezüglich Emporgedrängtwerden des Magmas gegen, sowie intrusiv in die feste Rinde.

Die Ursachen der magmatischen Beben sind somit nicht nur andere, sondern auch viel mannigfaltigere als die der tektonischen Beben:

Die magmatischen Beben können durch 5fach verschiedene Art und Weise der Einwirkung des Magmas hervorgerufen werden, die sie in Explosions-, Intrusions- und Kristallisationsbeben gliedern läßt; wobei freilich die erste und zweite Gruppe nicht ganz scharf getrennt ist insofern, als bei Intrusionen, entweder allein oder doch zum Teil, auch Explosionen wirksam sein können.

A. Magmatische Explosionsbeben. Ganz vorwiegend wirkt das Magma wohl durch Explosionen; hier möchte ich jedoch streng auseinanderhalten drei verschiedene Arten von Explosionsbeben, nämlich »Magmatische Explosionsbeben« und zweierlei bzw. dreierlei »Kontakt-Explosionsbeben«, die erstere ich als »eigentliche«, die letztere ich als »uneigentliche« magmatische Beben unterscheiden will.

a) Die eigentlichen magmatischen Explosionsbeben entstehen dadurch, daß die **innerhalb** des Magmas befindlichen Gase explodieren.

b) Die uneigentlichen magmatischen Explosionsbeben sind dagegen nur eine Kontakterscheinung, sind also nur Kontaktbeben; sie entstehen dadurch, daß **außerhalb** des Magmas befindliche Gase zur Explosion gelangen. Das aber kann auf zweierlei bzw. gar auf dreierlei verschiedene Weisen geschehen:

Einmal dadurch, daß das Magma, bezüglich heiße magmatische Gase, hinaufsteigen und hier oben in Kontakt treten mit Wassermassen, die sich in größeren Hohlräumen oder in den zahllosen kleinsten Hohlräumen der vom Wasser durchtränkten Erdrinde angesammelt haben.

Zweitens dadurch, daß umgekehrt Wassermassen in Kontakt treten mit dem Magma, indem sie auf plötzlich sich öffnenden Spalten in die Tiefe und in die Nähe des Magmas hinabgelangen.

Drittens in ganz anderer Weise dadurch, daß aufsteigendes sehr heißes Magma bzw. magmatische Gase in Kontakt treten mit festen kristallinen Massengesteinen der Erdkruste, in denen bekanntlich stets große Mengen von Gasen vorhanden sind, die letztere sich beim Erhitzen dieser Gesteine auf Rotglut stürmisch entwickeln.

Es handelt sich in allen letztgenannten drei Fällen also um Kontakterscheinungen ganz ebenso wie es bei dem Kontakt-Metamorphismus der Gesteine sich um eine Kontakterscheinung handelt; und es sind zwei ganz verschiedene Arten solcher Kontaktexplosionsbeben zu unterscheiden: Die durch Verwandlung von Wasser in Dampf, und die durch Entweichen jener anderen Gase aus den festen Gesteinen hervorgerufenen. Da indessen in allen diesen Fällen das Magma zugleich auch in ihm vorhandene Gase durch Explosion abgeben kann, und da ferner beim Erhitzen dieser festen Gesteine neben anderen Gasen auch etwas Wasserdampf ihnen entweicht, so werden diese verschiedenen Arten von Explosionsbeben durch Bindeglieder miteinander verbunden sein.

Natürlich wird in den seltensten Fällen die Entscheidung möglich sein, ob eine »eigentliche« magmatische Explosion oder nur eine »uneigentliche«, nur eine »Kontaktexplosion« und welche der beiden Arten von Kontaktexplosionen vorliegt. Das kann indessen kein Grund sein, sich dieses Unterschiedes nicht bewußt werden zu wollen. Ebenso wird man oft nicht entscheiden können, ob ein »rein tektonisches«, oder ein »kombiniert magmatisch-tektonisches«, oder ein »rein magmatisches« Beben vorliegt; aber auch hier wird das ebensowenig ein Grund sein können, sich über diesen Unterschied nicht klar werden zu wollen.

B. Magmatische Intrusionsbeben¹. Daß das Magma auch dann ein Beben hervorrufen muß, wenn sich der Vorgang einer Intrusion vollzieht, ist einleuchtend. Aber auch hier sind, und zwar 6fache Unterschiede denkbar.

a) Wenn das Magma in einen bereits durch tektonische Vorgänge geschaffenen, also präexistierenden Hohlraum eintritt, dann werden die

¹ GÜNTHER unterscheidet pseudovulkanische und kryptovulkanische Beben. Mit ersterem Namen bezeichnet er die Beben, die als Nachwehen eines vulkanischen Ereignisses entstehen, also durch Absitzen der gelockerten Massen. Mit letzterem Namen bezeichnet er die Intrusionsbeben.

Gase des Magmas durch gewaltige Explosionen sich befreien, dann wird also das Intrusionsbeben ein magmatisches Explosionsbeben sein.

b) Auch dann noch wird das der Fall sein, wenn sich durch gebirgsbildende Kräfte bzw. durch Seitendruck bei der Schrumpfung ein Hohlraum erst langsam bildet und nun im selben Schritte das Eindringen des Magmas allmählich erfolgt. Aber es liegt dann doch kein rein magmatisches Beben mehr vor. In beiden Fällen ist zwar die Bildung des Hohlraumes ein rein tektonischer Vorgang. Im ersten Falle aber hatte sich dieser und das durch ihn entstandene Beben schon vor der Intrusion vollzogen; im letzteren Falle, wenn Entstehung des Hohlraumes und Entstehung der Intrusion gleichzeitig erfolgen, kann das Beben ein kombiniertes, magmatisch-tektonisches sein.

c) Indessen es gibt noch ein Drittes: Wenn das Magma sich selbst den Hohlraum schafft — und die Lagerungsverhältnisse bei den Laccolithen zuerst Nordamerikas, dann an andern Orten, sowie das Dasein intrusiver Lagergänge sprechen durchaus auch für die Möglichkeit dieser Deutung — dann ist das durch das gewaltsame mechanische Eindringen des Magmas und zugleich durch seine dabei erfolgenden Explosionen hervorgerufene Beben, wie im ersten Falle, ein rein magmatisches. Das würde auch dann gelten, wenn die Kraft des Magmas, sich selbst den Hohlraum zu schaffen, keine ursprünglich in ihm selbst liegende wäre, sondern wenn sie dem Magma erst mitgeteilt würde dadurch, daß absinkende Schollen es aufwärtspressen.

d) Indessen diese Kraft kann auch in dem Magma selbst liegen bzw. von ihm selbst ausgehen, und zwar in verschiedener Weise durch Volumenvermehrung und durch Volumenverminderung: Was zunächst ersteres betrifft, so muß eine eingedrungene Intrusionsmasse das Nebengestein erwärmen, also ausdehnen und damit nach oben hin Druckkräfte ausüben, in deren Gefolge Zusammenpressung oder Aufpressung des Hangenden und damit Erschütterungen auftreten können.

e) Umgekehrt, wenn die Intrusionsmasse und das erwärmte Nebengestein sich wieder abkühlen und zusammenziehen, dann muß das Überliegende nachsinken. Ein auf eine dieser beiden letzteren Weisen entstandenes Beben ist, wenn auch alle Beweise für seine tektonische Natur zu sprechen scheinen — denn das Aufpressen wie das Einsinken wird ja Spaltenbildung im Gefolge haben — dennoch ein rein magmatisches.

Sehr lehrreich scheint mir in dieser Beziehung das kalifornische Beben von 1906 zu sein. Wie ROTHPLTZ betonte, hat sich nördlich von San Franzisko die Oberfläche ausgedehnt, offenbar doch, weil in der Tiefe eine Intrusion erfolgte. Also trotz der 32 km langen Beben-

spalte«, die sich wieder öffnete, war dies Beben doch kein tektonisches, sondern ein magmatisches, ein Intrusionsbeben, oder höchstens ein kombiniertes tektonisch-magmatisches.

f) Magmatische Kristallisationsbeben. Noch eine weitere vom Magma selbst ausgehende Ursache von Beben ist denkbar. Aus BARUS Untersuchungen wissen wir, daß der lange Streit über die Frage, ob mit dem Erstarren des Schmelzflusses Volumenzunahme oder -abnahme verknüpft ist, dahin entschieden ist, daß (an der Erdoberfläche und in den oberen Teufen) das Erstarren unter Zusammenziehung erfolgt.

g) Aus TAMMANNs, allerdings an anderen Körpern als am Schmelzfluß gewonnenen Ergebnissen aber müssen wir auch für den Schmelzfluß folgern, daß in großer Teufe, jenseits der verschiedenen maximalen Schmelzpunkte der verschiedenen Gesteins- bzw. Magmamischungen, bei ihrem Erstarren eine Ausdehnung erfolgt. Ganz wie bei jener unter e und d erwähnten Zusammenziehung oder Ausdehnung infolge von Abkühlung oder Erwärmung müssen bei dieser durch Kristallisation erfolgenden Zusammenziehung oder Ausdehnung Nachsinken der Erdrinde bzw. Druck gegen diese erfolgen, die Erderschütterungen hervorrufen können.

Die unter d, e, f erwähnten Vorgänge werden sich großenteils im Innern der Erdrinde an den dort intrudierten Schmelzmassen vollziehen; der unter g erwähnte aber wohl nur in großer Tiefe, also an der Grenze zwischen Rinde und allgemeinem Magma oder noch tiefer in letzterem. Im Gefolge dieser Vorgänge werden Spaltenbildungen in der Erdrinde entstehen können, so daß man, wenn man die Spalten sähe, die betreffenden Beben als tektonische erklären würde, während es in Wirklichkeit doch rein magmatische Beben sind.

Man sieht, daß wir mit diesen Vorgängen und Beben bereits in das Gebiet der tektonischen Beben kommen; **insofern** nämlich die Runzelung und Zertrümmerung der Erdrinde auf ein Schrumpfen des Erdkernes zurückgeführt wird. Da nun aber diese Schrumpfung der Magmamassen beim Abkühlen und beim Kristallisieren das Primäre, die Ursache ist, die Runzelung und Zertrümmerung der nachsinkenden Erdrinde aber das Sekundäre, die Folgewirkung, so folgt, daß sogar die echten tektonischen Beben, **soweit** sie wirklich aus solchem Vorgange entstehen, eigentlich magmatische Beben, bzw. kombiniert tektonisch-magmatische sind.

Aber man vergesse nicht, daß die herrschende Schrumpfungslehre nicht die einzige denkbare Erklärung für das Entstehen der tektonischen Vorgänge ist. Auch auf isostatische

Bewegungen der Rinde, oder auf horizontale Strömungen in dieser (AMPFERER), oder auf Vorgänge ganz anderer Art, Beschleunigung und Verlangsamung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde, Verlagerung der Erdachse usw. werden von anderen Forschern die tektonischen Erscheinungen entweder ganz oder zum Teil zurückgeführt. Und isostatische sowie Strömungsvorgänge vollziehen sich auch im Magma, hierdurch entstehende Beben wären also im letzten Grunde auch magmatische, selbst wenn sie tektonisch wirken. Die oben genannten aber vollziehen sich durchaus nicht im Magma; hierdurch entstehende Beben wären daher echt tektonische. Wo aber die Wahrheit bezüglich der Entstehungsursache der tektonischen Vorgänge liegt, das wissen wir doch zur Zeit nicht.

Bei diesen Kristallisationsbeben herrscht über einen Punkt leider völlige Unsicherheit: Wir kennen nicht die Maximalschmelzpunkte der verschiedenen Gesteinsmischungen, können uns daher kein auch nur halbwegs sicheres Bild von der Tiefe machen, um die es sich hier handelt. Wir wissen somit nicht, ob bereits in dieser Tiefe eine Erstarrung des Magmas stattfindet, ob daher nicht etwa die infolge von Dilatation entstehenden Kristallisationsbeben nur ein Theoretisches sind, dem nichts Tatsächliches entspricht. Damit würden dann alle Folgerungen hinfällig werden, die man an das Entstehen von Ausbrüchen infolge dieser Dilatation geknüpft hat.

Diese theoretischen Betrachtungen zeigen 1. daß die Ursachen der magmatischen Beben sehr verschiedenartige sein können; 2. daß in gewissen Fällen magmatische Beben sogar mit Niveauveränderungen an der Erdoberfläche verbunden sein können ganz wie die tektonischen, so daß man sie daher als tektonische deuten würde¹; 3. daß selbst bei recht flacher Lage des Bebenzentrums ein magmatisches Beben vorliegen kann; denn A. LACROIX hat gezeigt, daß vollkristalline Tiefengesteine bereits in geringer Tiefe unter der Erdoberfläche sich bilden können; 4. daß folglich magmatische Beben sehr viel häufiger sein dürften, als man im allgemeinen annimmt, d. h., daß viele vermeintliche tektonische Beben in Wirklichkeit rein magmatische oder in anderen Fällen auch kombiniert magmatisch-tektonische sein werden; 5. daß sogar echt tektonische Beben, falls man

¹ Explosionsbeben können keine Niveauveränderungen an der Erdoberfläche hervorrufen. Kristallisationsbeben und Intrusionsbeben aber, soweit sie durch Erwärmung oder Abkühlung entstehen, können Niveauveränderungen im Gefolge haben wie die tektonischen.

mit Recht die Runzelung der Erdrinde auf Abkühlungs-Vorgänge im Magma zurückführt, im letzten Grunde eigentlich magmatische und nur sekundär tektonische, also »kombiniert tektonisch-magmatische« sind.

III. Das verhältnismäßige Alter der verschiedenen Bebenarten. Zweifellos ist, daß tektonische Beben erst eintreten können, wenn auf einem Gestirn eine feste Erstarrungsrinde sich gebildet hat. Ebenso zweifellos aber ist, daß Vulkanismus auf einem Gestirn bereits eintritt, bevor eine Erstarrungsrinde auf ihm entstanden ist, also schon bei einem flüssigen, ja sogar noch früher, schon bei einem gasförmigen Aggregatzustande des Gestirns¹.

Im Gefolge vulkanischer Eruptionen und Explosionen tritt aber bekanntlich eine Erschütterung nicht nur der festen Gestirnsrinde, sondern auch der flüssigen und sogar der gasförmigen Massen im Innern des Gestirns ein, gleichviel ob das Gestirn eine Rinde besitzt oder rindenlos ist. Man sage nicht, das sei kein Beben. Ist denn nicht ein Seebeben auch ein Beben, obgleich es doch die flüssige Wassermasse ist, die hier erschüttert wird?! Mit demselben Rechte, mit dem man Seebeben als Beben anerkennt, muß man folglich auch die Erschütterung der flüssigen oder auch der gasförmigen Massen eines jugendlichen, rindenlosen Gestirns als ein Beben bezeichnen.

Es zeigt sich also, daß nicht nur — wie in der unten angezogenen Schrift dargelegt ist — die Erscheinungsweise der Vulkanausbrüche im Laufe der Entwicklung eines Gestirns sich verändert, sondern das gilt auch von der Erscheinungsweise der Beben.

Somit ergibt sich:

1. Magmatische Beben sind ganz ungemein viel älter als tektonische, also auch älter als Auflösungs² (Einsturz)-Beben.
2. Der Vulkanismus ist ebenso alt wie die Beben, aber nur wie die magmatischen Beben.

IV. Ein unterscheidendes Merkmal zwischen tektonischen und magmatischen Beben könnte möglicherweise bestehen,

¹ W. BRANCA, Die vier Entwicklungsstadien des Vulkanismus. Öffentlicher Vortrag. Sitzungsberichte dieser Akademie 1915.

² Da auch bei vulkanischen Beben Einstürze vorkommen, die das Beben erzeugen und da diese vulkanischen Einstürze eine völlig andere Ursache haben als sie dem sogenannten »Einsturz«-Beben zugrunde liegt, so scheint es richtiger, diese letzteren als »Auflösungs«-Beben zu bezeichnen, da sie ja durch chemische Auflösung der Gesteine bedingt werden.

so daß man dann beide auseinanderhalten könnte, auch wenn jedes andere Unterscheidungsmerkmal versagen würde:

Schon MILNE hat der Ansicht Ausdruck gegeben¹, daß wenn das Magma in der Tiefe in Bewegung und magnetisch sei, die dem Magma nächstgelegenen Orte an der Oberfläche, also die im Epizentrum gelegenen, am stärksten davon erregt werden würden. Es ist nun bemerkenswert, daß bei den großen japanischen Beben die magnetische Störung 30—40 Stunden vor dem Ausbruch des Bebens beginnt und ebenso schon etwa 12 Stunden vorher erlischt.

Gleiches berichtet RICHARD LANG von den acht schwäbischen Beben von September 1911 bis April 1912; hier erfolgte der Beginn der magnetischen Störung (1911) 30—46 Stunden vorher und ihr Aufhören auch noch 11—29 Stunden vor dem ersten Stoß². LANG folgert daraus, daß hier die Fließbewegung des Magmas schon entsprechend lange Zeit vor dem Eintritt des Bebens aufgehört habe. Daraus schließt er weiter, daß es sich hier um Intrusionsbeben handeln müsse, denn bei Explosionsbeben müsse gleichzeitig mit dem Beben eine magnetische Störung eintreten, infolge der damit verbundenen Aufwallung des Magmas.

Ganz im allgemeinen macht LANG darauf aufmerksam, daß man kryptovulkanische (also magmatische) Beben von tektonischen mit Hilfe dieses Merkmals zu unterscheiden imstande sei: kryptovulkanische Beben³ müssen nach ihm »durch Störungen im Gang der Magnetnadel erkennbar sein, weil im Zusammenhang mit ihnen Fließbewegungen des Magmas stattfinden, die auf den Gang des Erdmagnetismus wirken«; wogegen bei tektonischen Beben unmöglich eine Einwirkung auf die Magnetnadel entstehen könne. Da nun z. B. in Japan gewisse Beben mit magnetischen Störungen verknüpft seien, so seien diese gewiß magmatischer Natur.

Ganz klar liegen diese Verhältnisse wohl noch nicht. Falls aber doch auch tektonische Bewegungen magnetische Störungen hervorrufen sollten, so müßten beide gleichzeitig eintreten. Starke Ungleichzeitigkeit des Bebens und der magnetischen Störung spricht für magmatisches Beben; aber auch hier möchte ich meinen, daß

¹ MILNE, Seismological observations and Earth physics. Geographical Journal Bd. 21, S. 17, 1903.

² RICHARD LANG, Klassifikation und Periodizität der tektonischen und kryptovulkanischen Beben. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, Paläontologie, Beilageband 35, 1913 S. 776—838, hier speziell S. 809.

³ Man muß bei der folgenden Betrachtung sich vergegenwärtigen, daß LANG von kryptovulkanischen Beben spricht, ich von magmatischen und daß beide Begriffe sich nicht ganz decken, indem der des magmatischen Bebens der weitere ist, der den engeren des kryptovulkanischen in sich schließt (S. 384).

gewiß ein Teil der magmatischen Beben darum keinerlei magnetische Störungen hervorrufen wird, weil hier nicht genügend starke und anhaltende Fließbewegungen stattfinden. Wenn z. B. eine Spalte in der Tiefe der Erde über einem Magmaherde aufreißt, so werden aus letzterem, da in der Spalte der Druck plötzlich verringert wird, Explosionen in die Spalte hinein stattfinden, die natürlich Erderschütterungen hervorrufen; wobei es aber doch immer noch zweifelhaft erscheint, ob durch das nun folgende, vielleicht schnelle und bald beendete Hineinquellen des Magmas in diese Spalte, also durch diese kurze Fließbewegung, bereits eine magnetische Störung hervorgerufen wird. Aber davon abgesehen entstehen ja magmatische Beben auch lediglich durch Erwärmung und Abkühlung (S. 388 d und e); und gegenüber so entstandenen magmatischen Beben versagt natürlich jenes Merkmal der magnetischen Störungen, da hier ja keine Fließbewegung des Magmas vorliegt.

LANG meint freilich¹, daß bei Explosionsbeben gerade ein so starkes Aufwallen des Magmas erfolgen müsse, daß dadurch gleichzeitig magnetische Störungen erfolgen müßten. Es sei also ein Explosionsbeben mit magnetischen Störungen verbunden, ein Intrusionsbeben aber nicht; und darin sei ein Intrusionsbeben den tektonischen Beben gleich, jedoch von letzterem wieder darin verschieden, daß bei Intrusionsbeben magnetische Störungen vor Beginn des Bebens entstehen und wieder vergehen, bei tektonischen Beben dagegen gar keine magnetischen Störungen eintreten².

V. Niveauveränderungen. Tektonische Beben, sobald sie nicht nur durch Aufreißen einer Spalte, sondern auch durch Verschieben zweier Schollen gegeneinander entstehen, müssen, so sollte man meinen, notwendig an der Erdoberfläche in Form von plötzlichen Niveauveränderungen sich bemerkbar machen. Namentlich aber müßte das dann stets der Fall sein, wenn das Beben nicht nur aus einem oder einigen Stößen besteht, sondern wenn eine ganze »seismische Phase« hereinbricht, also eine Erdbebenzeit, die tage-, wochen-, monate-, jahrelang andauert, so daß Hunderte und Tausende von Stößen die Erde erschüttern. Wenn auch jeder einzelne Stoß nur von einer ganz kleinen Niveauveränderung begleitet wird, so müßte sich doch, wenn es sich um Hunderte und Tausende von Stößen handelt, das summieren und an der Erdoberfläche schließlich in großen Niveauveränderungen bemerkbar werden.

¹ A. a. O. S. 810, 817.

² E. NAUMANN'S Ansicht, daß die magnetischen Störungen in Japan durch tektonische Störungen hervorgerufen seien, erscheint mir unhaltbar, weil die magnetischen dort vor Eintritt der tektonischen entstehen und vergehen. Vgl. SIEBERG, Handbuch der Erdbebenkunde 1904, S. 126 (HÖRNES, Kryptovulkanische oder Injektionsbeben: Geologische Rundschau 1911, S. 403).

Das gilt übrigens nicht nur ausschließlich von tektonischen Beben, sondern, wie gesagt wurde, müssen unter Umständen auch magmatische Beben mit Niveauveränderungen an der Erdoberfläche Hand in Hand gehen können (S. 390 Anm.).

Man kennt ja solche Niveauveränderungen infolge tektonischer Beben. Aber gerade der Umstand, daß man solche Fälle immer besonders hervorhebt und zitiert, während diese doch bei den ungemein zahlreichen, als tektonisch angesprochenen Beben derartig häufig vorkommen und beobachtet sein müßten, daß man sie als etwas Alltägliches gar nicht mehr nennenswert erachten würde — gerade dieser Umstand müßte doch zur Vorsicht mahnen, überall mit Vorliebe nur tektonische Beben erkennen zu wollen.

Bekanntlich vergeht keine Stunde, in der nicht irgendein Teil unserer Erdoberfläche ein Beben erleidet. Dem ganz überwiegend größten Teile dieser zahllosen Beben wird eine tektonische Natur zugesprochen. Warum also bemerkt man bei diesen zahllosen, angeblich fast immer durch Verschiebung von Schollen entstandenen, also angeblich tektonischen Beben, nur verhältnismäßig so überaus selten das Vorhandensein einer Verschiebung, einer Niveauveränderung? Die Antwort auf diese Frage kann doppelt lauten:

Entweder weil die Verschiebung der Schollen fast immer in der Tiefe der Erdrinde eintritt und dann fast immer allmählich nach der Höhe zu erlischt, sich also fast nie bis an die Erdoberfläche fortpflanzt. Gewiß, das mag nicht selten vorkommen; aber daß es der ganz überwiegenden Regel nach der Fall sein sollte, das will mir nicht einleuchten.

Oder aber es findet bei Erdbeben tatsächlich, und zwar unten wie oben, nur in verhältnismäßig seltensten Fällen eine Niveauveränderung statt. Das ließe sich dann nur so deuten, daß die tektonischen Beben nur selten durch Verschiebung von Schollen hervorgerufen werden, sondern fast immer nur durch das bloße Aufreißen einer Spalte; auch das wird wohl niemand annehmen wollen.

Ist dem nun so, dann bleibt nur ein Drittes: Die angeblich tektonischen Beben wären dann zum mehr oder weniger großen Teile gar keine tektonischen Beben, sondern magmatische.

Dieses Dritte scheint mir insofern das Richtige zu sein, als es meiner Ansicht nach gewiß für nicht wenige, oder gar für viele der angeblich tektonischen Beben gilt. Indessen, man wird mir die Tatsache entgegenhalten wollen, daß doch, wie Graf MONTESUS DE BALLORE nachwies, die meisten Beben im Faltengebirge sich ereignen, also im Zerrüttungsgebiete, daß sie somit eine Folge der Zerrüttungs-, der tektonischen Vorgänge sein müßten; und diese Tatsache scheint allerdings

durchaus gegen meine oben geäußerte Ansicht zu sprechen, denn sie steht scheinbar im Widerspruch mit ihr. Den möchte ich zu erklären suchen.

Ich stelle zunächst drei Tatsachen nebeneinander:

1. Tatsache ist, wie schon gesagt, daß die ganz überwiegende Zahl der Beben an die Zerrüttungszonen der Erde gebunden ist; woraus man auf einen notwendigen ursächlichen Zusammenhang beider geschlossen und gefolgert hat, die ganz überwiegende Zahl aller Beben sei eine Folge der Zerrüttung, sei tektonischer Natur.

2. Tatsache ist nun aber ebenso, daß nicht nur die Erdbeben, sondern auch die Vulkane gern an die Zerrüttungszonen gebunden sind; woraus man dann, aber irrtümlicherweise, ebenso gefolgert hat, daß Vulkane überhaupt nur da sich bilden müßten, wo offene Spalten in den zerrütteten Gebieten dem Magma den Ausweg gestatten.

3. Tatsache ist endlich, daß trotzdem keineswegs in allen Zerrüttungsgebieten sich Vulkane befinden, so z. B. in den Alpen, im Himalaja nicht, während dort doch starke Erdbeben auftreten; woraus man gefolgert hat, daß die Erdbeben tektonischer, nicht aber magmatischer Entstehung sein müßten.

Diese Folgerungen erscheinen mir nun durchaus nicht zwingend. Wenn ich nämlich die erste und die zweite jener drei Tatsachen nebeneinander stelle, so ziehe ich den Schluß: Da, wo in den Zerrüttungszonen sowohl Erdbeben als auch Vulkane sich finden, da könnten an und für sich die Erdbeben logisch doch ebensogut eine Folge des Vulkanismus (im weiteren Sinne) wie eine Folge der Zerrüttung sein. Da könnten sie also an und für sich ebensogut magmatischer wie tektonischer Natur sein.

Aus der dritten jener Tatsachen aber ziehe ich den Schluß: Selbst da, wo in Zerrüttungsgebieten zwar Erdbeben, aber keine Vulkane auftreten, selbst da noch können die Beben an und für sich ebensogut magmatischer wie tektonischer Natur sein; denn es gibt ebensogut unterirdischen Vulkanismus wie oberirdischen. Das Magma liegt eben nicht nur in der Tiefe unterhalb der 30—40-km-Zone (S. 385), sondern steigt auch in alle Höhenlagen der Erdrinde empor und nistet sich dort in Form von größeren oder kleineren Schmelzherden ein. Der Umstand also, daß irgendwo, namentlich aber in einem Zerrüttungsgebiete, über Tage keine Magmamassen austreten, beweist nicht im mindesten, daß sie hier nicht unter Tage eintreten. Ganz im Gegenteil, wir sehen ja an den zahllosen Intrusionsmassen, die durch die Erosion bereits freigelegt worden sind, während noch massenhafte Intrusionsmassen versteckt in der Tiefe daliegen werden, daß der unterirdische Vulkanismus, entweder auch jetzt noch oder doch mindestens früher, sehr viel häufiger gewesen sein muß als der oberirdische.

Das aber ist auch sehr erklärlich, denn es bedarf doch geringerer Kraftanstrengung, wenn das schwere Magma, eine Intrusion in der Tiefe bildend, z. B. nur bis 20 oder bis 10 km unter der Erdoberfläche aufzusteigen braucht, als wenn es noch 20 oder 10 km höher, bis an die Erdoberfläche, steigen muß. Und weiter: Es muß doch jeder oberirdische Vulkanberg einen unterirdischen Schmelzherd besitzen, so daß also unterirdische vulkanische Massen notgedrungen sich finden können nicht nur da, wo keine oberirdischen Vulkane sind, sondern auch noch da sich finden müssen, wo oberirdische Vulkane auftreten.

Die unterirdischen, d. h. innerhalb der Erdrinde befindlichen Stätten des Schmelzflusses müssen folglich ganz un-gemein viel zahlreicher sein als die oberirdischen. Das Fehlen von oberirdischen Vulkanen in von Erdbeben heimgesuchten Zerrüttungsgebieten beweist somit an sich gar nichts dafür, daß hier in den Tiefen keine Magmamassen liegen, daß also hier auftretende Beben nicht magmatischer Natur sein könnten.

Ich komme daher mit gutem Grunde zu folgenden fünf Schlüssen:

1. Beben in Zerrüttungsgebieten können an und für sich, und zwar nicht nur in vulkantragenden, sondern ebensogut auch in vulkanfreien Stellen derselben, ganz ebensogut magmatischer Natur sein wie tektonischer. Die tektonische Natur eines Bebens ist daher erst dann sicher erwiesen, wenn noch andere Beweise dafür vorhanden sind als allein die Lage in einem Zerrüttungsgebiete.

2. Beben sind sicher rein magmatischer Natur überall dann, wenn ihr Zentrum eine sehr tiefe Lage hat, d. h. tiefer als 30—40 km liegt. Wobei ich hinweise auf das auf S. 382 Gesagte, daß die 30—40 km ja nichts Genaues seien.

3. Beben können aber selbst noch bei flacher, also innerhalb der Erdrinde liegendem Zentrum, magmatischer Natur sein, nämlich, wenn sie durch an dieser flacheren Stelle liegende Intrusionsvorgänge erzeugt werden. Daß Intrusionen in allen Niveaus der Erdrinde sich vollziehen können, das ist sicher. A. LACROIX hat gezeigt, daß körnige Tiefengesteine, also Erstarrungsmassen von Intrusionen, sogar in überaus geringen Tiefen entstehen können bzw. entstanden sind, von noch weniger als wenigen Kilometer Tiefe.

4. Beben können hier wie da auch »kombiniert magmatisch-tektonische« sein, brauchen also selbst da, wo man sicher auf tektonische Herkunft schließen zu können sich berechtigt glaubt, durchaus nicht immer rein tektonische zu sein.

5. Ganz ebenso also, wie man beim Zustandekommen der Vulkane den Einfluß der Tektonik überschätzt hat, indem man tektonische Vor-

gänge möglichst für den immer allein wirksamen Faktor erklärte und die Kraft der vulkanischen Massen bestritt, sich auch unabhängig von präexistierenden, offenen Spalten, mindestens durch die oberen Schichten der Erdrinde, Wege bahnen zu können, so hat man auch beim Zustandekommen der Erdbeben meiner Ansicht nach den Einfluß der Tektonik überschätzt und hier wie da den Einfluß des Magmas unterschätzt.

VI. Vorrichtungen zum Nachweise von Niveauveränderungen an der Erdoberfläche. Außer den durch den offensibaren Augenschein und die Geologie gegebenen Mitteln zum Nachweise stattgehabter Veränderungen in der Höhenlage lassen sich auch künstliche Mittel erdenken, mit deren Hilfe man solche Niveauveränderungen erkennen könnte, namentlich dann, wenn letztere nur so geringe Werte besitzen, daß sie sich dem bloßen Augenschein entziehen. Die Anwendung solcher Mittel aber, namentlich da sie sich ohne größere Kosten herstellen lassen, wäre wünschenswert; kommen doch Veränderungen der Höhenlage zustande durch Erdbeben, tektonische Vorgänge, säkulare Hebung und Senkung, Auswaschung bzw. Auflösung der Gesteine, Abtragung durch Wässer, durch Wind, durch eigene Schwere, also durch acht verschiedene Ursachen und sind zudem oft, mindestens für den Augenblick, von winziger Größe.

Bekannt ist das Mittel der in den Felsen im Meeresniveau eingehauenen Marken, das man in Skandinavien angewendet hat, um den Betrag säkularer Hebung zu ermitteln.

Bekannt ist auch, daß durch geodätische Höhenbestimmungen, die in längeren Zeiträumen an denselben Orten wieder vorgenommen werden, wirkliche bzw. aber auch vermeintliche Änderungen der Höhenlage gefunden werden können bzw. worden sind; vermeintliche nämlich dann, wenn die älteren Bestimmungen ungenau gewesen waren; so daß sich durch die neueren, schärferen nun scheinbare Veränderungen der Höhenlage ergaben (Schweiz, Frankreich).

Ein drittes, sehr einfaches Mittel, um in bergigen Gegenden Niveauveränderungen festzustellen, wäre das folgende: Ortschaften mit Kirchtürmen liegen hier vorwiegend in Mulden oder Tälern, sind also unsichtbar für den in einem Nachbartale Stehenden. Nähert man sich nun von diesem anderen Tale aus, am Berge emporsteigend der Höhe, von der aus man die Ortschaft schließlich unten liegen sieht, so kommt man zunächst an einen Punkt, an dem die Spitze des Kirchturms der betreffenden Ortschaft eben über dem Bergrücken sichtbar wird. Wenn man an dieser Stelle am Wegrande einen gekennzeichneten und mit einer Nummer versehenen Stein setzen würde, um diesen Punkt festzulegen, so hätte man ein einfaches, billiges Mittel, durch das sich erkennen ließe, ob etwa später zu irgendeiner Zeit von diesem Punkte

aus die Spitze des Kirchturmes entweder noch nicht sichtbar ist, oder ob sie nun bereits vor Erreichung dieses Punktes sichtbar wird. Eine ganze Anzahl solcher numerierten Steine an den verschiedensten Stellen eines Gebietes verteilt, würde eine ziemlich genaue Kontrolle über etwa erfolgte Veränderungen der Höhenlage gestatten, und jeder Wanderer könnte die Kontrolle ausführen und etwa eingetretene Veränderungen der kontrollierenden Person melden. Diese würde das Kontrollbuch führen, in dem jeder der Steine mit seiner Nummer und seiner Bedeutung verzeichnet stände. Da die Beobachter verschieden groß sind, so müßte eine bestimmte Höhe des Augenpunktes über der Erdoberfläche als normal geltend angenommen, eventuell auch an einem Baumstamm markiert werden.

Mit diesen drei Mitteln würde man indessen nur Veränderungen in der Höhenlage, also Hebungen und Senkungen, nachweisen können, nicht aber auch seitliche Verschiebungen. Ein viertes feineres, aber ebenfalls nicht kostspieliges Mittel würde daher darin liegen, daß man drei oder mehrere Fixpunkte, die in einer Geraden liegen, errichtete, oder, wenn schon vorhanden, auswählte. Ich will als Beispiel das Erdbebengebiet des Rheingrabens nehmen, der durch Verwerfungen in ungefähr nordsüdlicher Richtung entstanden ist und dessen heutige Erdbeben auf heute noch stattfindendes Absinken längs dieser Treppenbrüche zurückgeführt werden. Würde man hier auf einer querüberverlaufenden Geraden liegende Fixpunkte auswählen, die also von O nach W, vom Schwarzwald hinab, dann über die Rheinebene und hinauf auf die Vogesen verlaufen, so würde man ebensowohl seitliche, in N-S-Richtung an den einanderzugekehrten Gehängen beider Gebirge verlaufende Verschiebungen feststellen können, wie auch Verschiebungen in der Höhenlage, in den Treppen.

Namentlich also da, wo »habituelle Stoßgebiete« auf Längs- oder auf Querbrüchen im Gebirge auftreten, würde man mit diesem Mittel gute Ergebnisse erzielen können; so z. B. in den Alpen auf den bekannten Querbrüchen.

Soweit sich keine für diesen Zweck verwendbaren Bauwerke, namentlich Kirchtürme, finden, müßte man Fixpunkte schaffen durch Aufbau von Pfeilern oder durch mit Farbe gemachte Marken an Felsen. Die Kontrolle fände statt durch Beobachtungen in einem mit Fadenkreuz versehenen Fernrohr. Natürlich müßte auch hier ein Kontrollbuch angelegt werden, in dem jede dieser Fixpunktlinien nummeriert, genau namhaft gemacht, beschrieben und in die Karte eingezeichnet wird; und davon müßte eine Reihe von Abzügen gemacht und an Personen verteilt werden, die in dem betreffenden Bezirke

wohnen oder beschäftigt sind und ihr Interesse an der Kontrolle, namentlich nach stattgefundenen Erdbeben, betätigen wollen.

Je wilder und höher das betreffende Gebirge und je länger die Linie der notwendigen Fixpunkte, desto erschwerter würde natürlich die Anlage der Linien und die Ausführung der Beobachtungen nach Erdbeben werden. Aber größere Kosten dürften im allgemeinen wohl nicht hierfür erforderlich sein.

Ein fünftes Mittel endlich, das aber weniger für den Nachweis von Verschiebungen in vertikaler und horizontaler Richtung als — worauf Hr. Kollege RUBENS hinwies — von etwaigen Drehungen um eine horizontale oder vertikale Axe brauchbar und überaus fein empfindlich wäre, würde das folgende sein: Auch hier handelt es sich um Anlage von Fixpunkten. Aber im Gegensatz zu dem vorher besprochenen Mittel, bei dem die Fixpunkte in einer Geraden liegen müssen, kann hier ihre Verteilung eine ganz unregelmäßige sein und diese Punkte müßten Spiegel tragen, deren Zerstörbarkeit durch Menschen und Natur freilich ein Mangel ist. Vor 46 Jahren hat der Mineraloge UZIELLI in Rom einmal diesen Gedanken mündlich, flüchtig zu mir geäußert; ob er je etwas darüber veröffentlicht hat, ist mir nicht bekannt.

Als Punkte, an denen man diese Spiegel anbringen würde, deren Reflexlicht die Veränderung der Lage angeben soll, würde man bei uns, wie mir scheint, am besten eine Anzahl der Höhen benutzen können, auf denen sich für die Landestriangulation die oft durch eine Pyramide von Stangen markierten Steine befinden. Nur würde man an Stelle einer solchen Stangenpyramide einen Pfeiler oder ein kleines Türmchen errichten müssen, die mit festem Fundamente unverrückbar mit der Erde der Höhe verbunden wären. An der Außenseite eines jeden Pfeilers wäre ebenso fest, ungefähr nach S, oder SW oder SO, gerichtet, ein Spiegel befestigt, dessen Reflexlicht zu bestimmter Stunde genau auf einen bestimmten Punkt fallen muß, der nun seinerseits ebenfalls an einem kleinen, festfundamentierten Turme bezeichnet ist. Sobald sich die Lage des Spiegelpfeilers oder die des Punktpfeilers verändert, muß notwendig um die betreffende Stunde und Jahreszeit der Strahl des Spiegels entweder höher oder tiefer als der Punkt oder seitlich von ihm fallen.

Man erfährt in allen diesen Fällen allerdings nicht, welche von zwei Schollen ihre Lage verändert hat. Das läßt sich indessen feststellen dadurch, daß man das Verhalten benachbarter Punkte beobachtet.

Ausgegeben am 14. Juni.

Sonderabdrucke aus den Sitzungsberichten 1915. 1916. 1917.

In Kommission bei Georg Reimer.

Physikalisch-mathematische Klasse.

EINSTEIN: Die Feldgleichungen der Gravitation	M	0.50
NERNST: Zur Registrierung schnell verlaufender Druckänderungen	»	0.50
PLANCK: Bemerkung über die Emission von Spektrallinien	»	0.50
ORTH: Zur Frage nach den Beziehungen des Alkoholismus zur Tuberkulose. II	»	1.—
F. E. SCHULZE: Lippen- und Wangenschleimhaut der Säugetiere. III. <i>Marsupialia</i>	»	1.—
RUBENS und G. HETTNER: Das langwellige Wasserdampfspektrum	»	1.—
EINSTEIN: Deutung der MAXWELLSchen Feldgleichungen der Elektrodynamik	»	0.50
SCHWARZSCHILD: Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes	»	0.50
PRAGER: Über die Periode des veränderlichen Sterns RR Lyrae	»	0.50
WARBURG: Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen. VI	»	0.50
HELLMANN: Ägyptische Witterungsangaben im Kalender von Claudius Ptolemaeus	»	0.50
SCHWARZSCHILD: Über das Gravitationsfeld einer Kugel	»	0.50
BRAUER: Die Verbreitung der Hyracoiden	»	0.50
CORRENS: Untersuchungen über Geschlechtsbestimmung bei Distelarten	»	1.—
FROBENIUS: Über die Kompositionsreihe einer Gruppe	»	0.50
SCHWARZSCHILD: Zur Quantenhypothese	»	1.—
FISCHER und M. BERGMANN: Über neue Galloylderivate des Traubenzuckers	»	1.—
M. BORN: Über anisotrope Flüssigkeiten	»	2.—
PLANCK: Über die absolute Entropie einatomiger Körper	»	0.50
HABERLANDT: Blattepidermis und Lichtperzeption	»	0.50
EINSTEIN: Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation	»	0.50
F. E. SCHULZE: Lippen- und Wangenschleimhaut. IV. <i>Rodentia duplicitentata</i> (2 Tafeln)	»	0.50
LIEBISCH: Optische Beobachtungen am Quarz (4 Tafeln)	»	0.50
L. BIEBERBACH: Über die schlichte Abbildung des Einheitskreises	»	0.50
FISCHER und O. NOURI: Synthese des Phloretins	»	0.50
FISCHER: Isomerie der Polypeptide	»	1.—
BECKMANN und E. BARK: Seetang als Ergänzungsfuttermittel. II	»	1.—
C. NEUBERG: Über Hydrotropie	»	0.50
M. BORN und F. STUMPF: Über anisotrope Flüssigkeiten. II	»	1.—
STRUVE: Neue Untersuchungen über die Bewegungen im Saturnsystem. I. Enceladus-Dione	»	0.50
EINSTEIN: HAMILTONSches Prinzip und allgemeine Relativitätstheorie	»	0.50
ORTH: Das biologische Problem in Goethes Wahlverwandtschaften	»	0.50
F. E. SCHULZE: Lippen- u. Wangenschleimhaut. V. <i>Rodentia simplicidentata</i> . A. (2 Taf.)	»	0.50
E. PRZYBYLLOK: Über eine Bestimmung der Nutationskonstante	»	0.50
H. SCUPIN: Entwicklung des Zechsteins im Vorlande des Riesengebirges	»	0.50
RUBENS: Über Reflexionsvermögen und Dielektrizitätskonstante	»	0.50
FISCHER und H. NOTH: Acylierung mehrwertiger Alkohole und Zucker. IV	»	2.—
LIEBISCH und A. WENZEL: Die Interferenzfarben des Quarzes im polarisierten Licht. I	»	1.—
RUBENS: Das ultrarote Spektrum	»	1.—
EINSTEIN: Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie	»	0.50
HELLMANN: Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. II	»	1.—
HELLMANN: Über die angebliche Zunahme der Blitzgefahr	»	0.50
BRAUER: Über Doppelbildungen des Skorpions (<i>Euscorpis carpathicus</i> L.)	»	0.50
P. GUTENICK und R. PRAGER: Untersuchung des Lichtwechsels von β Lyrae	»	1.—
H. WEYL: Über die Starrheit der Eiflächen und konvexen Polyeder	»	1.—
I. SCHUR: Ein Beitrag zur additiven Zahlentheorie	»	1.—
PLANCK: Über einen Satz der statistischen Dynamik	»	1.—
BRANCA: Bedeutung der magmatischen Erdbeben gegenüber den tektonischen	»	1.—