zu reagieren, als dies ein Flugzeugführer kann (1 : 1,62).

Als *gleichwertig* können Vögel und Flugzeuge angesehen werden in bezug auf ihre natürliche Geschwindigkeit und die Leistung, die zur Erreichung dieser Geschwindigkeit nötig ist, sowie in bezug auf die Größe der Nutzlast bei kürzeren Flügen.

Weit *überlegen* sind die *Flugzeuge* den *Vögeln* in bezug auf die Leistungsfähigkeit des Motors. Überlegen sind sie auch in der absoluten Geschwindigkeit und damit in der Fähigkeit gegen Stürme anzukämpfen, in der maximalen Flugstrecke, die ohne Stoffzufuhr durchfliegen werden kann, in der maximalen Flugdauer, und in der maximalen Höhe, die sie ohne äußere Energiequelle erreichen können.

Da aber die *Gesamtleistung* einer Maschine bedingt ist durch ihre *schwächste Eigenschaft*, und diese bei den Flugzeugen die *Betriebssicherheit* ist, so müssen wir in der Gesamtleistung zurzeit den Vögeln noch den Vorrang zuerkennen.

Auf wie lange noch?

Beitrag zur Erklärung der Beschaffenheit des Erdinnern.

Von Prof. Dr. E. Rudolph und Dr. S. Szirtes,
Straßburg i. E.

Die Vorstellungen, welche wir uns über die Beschaffenheit des Erdinnern machen können, stützen sich in der Hauptsache auf die Beobachtungen, welche man über Präzession und Nutation der Erdachse, Abplattung der Erde, Ebbe und Flut, Lotschwankungen infolge der wechselnden Anziehung von Sonne und Mond, Breiten- und Längenschwankungen, Variationen der Schwerkraft usw. seit einer langen Reihe von Jahren gemacht hat, und haben zu einigen Schlüssen über die Massenverteilung in der Erde, über die Dichte und über die elastischen Verhältnisse der Erde als Ganzes geführt. Indessen ist es auf diesem Wege nur möglich gewesen, zu ganz allgemeinen Vorstellungen über die Massenordnung im Innern der Erde, die Dichteverteilung und die Elastizität zu gelangen, wie aber die Massen im einzelnen gelagert sind. Wie die Dichte von Schicht zu Schicht nach dem Innern zunimmt und wie sich die elastischen Verhältnisse der Erdschichten im einzelnen gestalten, darüber lassen sich aus den bisherigen Beobachtungen und nach den genannten Methoden keine genauen Angaben machen. Sobald man darüber hinausgeht, betritt man das Gebiet der Spekulation und ist genötigt von mehr oder minder wahrscheinlichen Voraussetzungen auszugehen. Den interessantesten Versuch in dieser Hinsicht hat E. Wiechert¹⁾ gemacht, indem er von der Annahme ausgeht, daß die Erde zweiteilig sei und aus einem metallischen Kern und einer sich darumlegenden Hülle

¹⁾ Über die Massenverteilung im Innern der Erde. Nachrichten der Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1897.

von Gesteinsmaterial zusammensetze. Indem er die weitere, allerdings ja sehr wahrscheinliche Annahme machte, daß der Mond einst einen Teil der Erdrinde ausmachte, sich aber von dieser in einem sehr frühen Stadium der Erdentwicklung loslöste, schloß er, daß die Dichte der Gesteins-hülle gleich der mittleren Dichte des Mondes, nämlich 3,4 sei, danach ergab sich für den metallischen Kern eine Dichte von etwas über 8, und für die Gesteins-hülle wurde eine Mächtigkeit von 1500 km berechnet. Ein Fortschritt in der Physik des Erdkörpers war erst durch die Entwicklung der Seismologie in dem Momente gegeben, als durch die seismometrischen Beobachtungen der unumstößliche Beweis dafür erbracht war, daß die Erdbebenwellen durch den Erdkörper bis zu den größten Entfernungen sich fortpflanzen, denn da man aus der Art der Ausbreitung der Erdbebenwellen über die Erdoberfläche den Weg bestimmen kann, welchen diese durch das Erdinnere nehmen, so war die Möglichkeit gegeben, das elastische Verhalten der Erdschichten von der Oberfläche bis zum Erdmittelpunkt unter den im Erdinnern herrschenden Drucken kennen zu lernen.

Ohne auf die Untersuchungen näher einzugehen, zu denen die zahlreichen seismologischen Beobachtungen der letzten Zeit Veranlassung gegeben haben und die dazu geführt haben, an Stelle der *einen* Unstetigkeit zwischen Metallkern und Steinmantel, welche E. Wiechert anfangs bestätigt zu finden glaubte, deren vier anzunehmen, und zwar in 1200, 1700, 2450 und 3300 km Tiefe, welche letztere als Grenze zwischen dem Kern und dem umhüllenden Mantel angesehen wird, wollen wir uns einer speziellen Frage zuwenden, welche sich uns gelegentlich der Konstruktion einer neuen Laufzeitkurve ergeben hat.

Fig. 1. Laufzeit der longitudinalen P- und der transversalen S-Wellen.

Aus Fig. 1, welche die Laufzeit der longitudinalen P-Wellen und der transversalen S-Wellen bis zu einer Entfernung $\Delta = 20\,000$ km darstellt, sind die Beziehungen zwischen Δ als Abszisse und den zugehörigen Zeiten T als Ordinaten er-

sichtlich. Sie ist auf Grund einer großen Anzahl von möglichst genauen Daten über die zeitliche Analyse zuverlässiger Seismogramme konstruiert worden und hat die Bedeutung einer mittleren Laufzeitkurve. Eine solche Laufzeitkurve oder Hodograph hat für die praktische Seismometrie mehrfachen Wert: man kann aus ihr z. B. die Epizentralentfernung einer Station entnehmen, wenn die zeitlichen Anfänge der beiden ersten Phasen eines Bebens bekannt sind; in gleicher Weise läßt sich mit ihrer Hilfe die Eintrittszeit des Bebens im Epizentrum ermitteln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden Wellenarten in jedem beliebigen Epizentralabstand ableiten. Bei der Aufstellung von Laufzeitkurven ist man bisher stets von der Ansicht ausgegangen, daß es eine allgemeingültige Laufzeit gebe, welche auf alle Erdbeben Anwendung finde, gleichviel ob die Wellen aus geringer oder großer Tiefe stammen und ohne Rücksicht auf das Azimut, in welchem die Wellen eine Station erreichen. Allerdings ist schon vor längerer Zeit von W. Láska¹⁾ gegen diese Annahme die Behauptung aufgestellt worden, daß jedes Erdbeben seine eigene Laufzeit habe, wie eine quantitative Untersuchung der bestehenden Laufzeitkurven erwiesen habe. Wenn wir selber auch nicht soweit gehen wollen, so müssen wir doch darauf hinweisen, daß sich uns bei der Bearbeitung des kolumbianischen Bebens am 31. Januar 1906²⁾ bereits Bedenken über die Allgemeingültigkeit der Laufzeitkurven ergeben haben. Dieselben wurden besonders durch eine Untersuchung über die Eigentümlichkeiten der Laufzeitkurve hervorgerufen, welche uns auf folgende Alternative führte: „Kommt der Laufzeitkurve eine allgemeine Gültigkeit zu, so müßte das Minimum der Oberflächengeschwindigkeit stets die gleiche Entfernung vom Epizentrum haben, das würde aber nichts anderes bedeuten, als daß die Herdtiefe für alle Beben die gleiche ist. Hat dagegen jedes Beben verschiedene Herdtiefe, so kann es keine allgemein gültige Laufzeitkurve geben, da in diesem Falle die Lage des Minimums ihre Stelle in der Laufzeitkurve ändern und somit die Herdtiefe einen Einfluß auf die Gestaltung der Laufzeitkurve ausüben müßte.“ Auch Fürst B. Galitzin³⁾ ist auf Grund seiner Untersuchungen über das süd-deutsche Beben vom 16. November 1911 zu der Annahme geführt, daß die Laufzeiten der einzelnen Beben eine verschiedene sei.

Wir sind nun der in Rede stehenden Frage von einer andern Seite näher getreten und haben

eine systematische Untersuchung über die Abweichungen angestellt, welche sich bei einem Vergleich unseres zahlreichen Beobachtungsmaterials mit den Laufzeiten der sog. Göttinger Laufzeitkurve ergeben haben. Aus der großen Zahl von Störungen, welche in den letzten Jahren auf den meisten Beobachtungsstationen zur Aufzeichnung gelangt sind, haben wir etwa 75 als die besten ausgewählt und hiervon nur diejenigen Zeitangaben verwertet, welche von den empfindlichsten Apparaten und den in bezug auf die Zeitangaben zuverlässigsten Stationen geliefert worden sind. Indem wir nun die resultierenden Laufzeitabweichungen tabellarisch nach den Epizentralentfernungen innerhalb $\Delta = 6000$ und $\Delta = 12000$ Kilometer für je 100 km Differenz zusammenstellten, zeigte sich zunächst die auf den ersten Blick auffallende Tatsache, daß die Abweichungen nicht in einer Richtung lagen, sondern sich in *positivem* und *negativem* Sinne bewegten. Wir nennen dabei *positiv* diejenigen Abweichungen, welche oberhalb der Vergleichskurve liegen, d. h. auf eine geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen durch das Erdinnere hinweisen, und *negativ* diejenigen, welche unterhalb der Vergleichskurve liegen. Die graphische Darstellung der positiven und negativen Werte der Abweichung lieferte uns zwei Kurvenstücke, die im großen und ganzen für die angegebenen Epizentralentfernungen einen gleichen Verlauf erkennen lassen. Der Abstand, in welchem beide Kurven voneinander verlaufen, beträgt ca. 20 Sekunden. Wir unterlassen es an dieser Stelle, die absoluten Laufzeiten, wie sie sich aus den beiden Kurven ablesen lassen, aufzuführen und wollen nur darauf hinweisen, daß die angegebene Differenz von 20 Sekunden zu groß ist, als daß sie durch Annahme einer verschieden großen Herdtiefe für die verschiedenen Beben ihre zutreffende Erklärung finden könnte.

Der kausale Zusammenhang zwischen der Abweichung und physikalischen Faktoren ergab sich uns schließlich dadurch, daß wir eine geographische Arbeitsmethode auf das Problem anwandten, indem wir die Epizentren, von denen die Wellen in verschiedenen Azimuten ausstrahlten, nach geographischen Gesichtspunkten anordneten und hiermit die gefundenen Abweichungen in Verbindung brachten. Dabei stellte sich auf den ersten Blick ganz allgemein heraus, daß die positiven und negativen Abweichungen der Beben nicht etwa regellos durcheinander liefen, sondern daß eine gewisse gesetzmäßige Anordnung und Beziehung ersichtlich war, indem alle Erdbebenwellen, welche aus den nördlich und östlich von Europa gelegenen Epizentren zu uns kamen, eine negative Abweichung aufwiesen, diejenigen dagegen, welche von Westen und Südwesten her eintrafen, eine ebenso deutlich ausgeprägte positive Abweichung. Die Epizentren der ersteren Klasse gehören ohne Ausnahme den großen Erdbebengebieten an, welche sich von der Halbinsel *Alaska*

¹⁾ Über seismische Laufzeitkurven. Mitteilungen der Erdbebenkommission der K. Ak. d. Wiss. in Wien. Neue Folge Nr. XXXVIII. 1910.

²⁾ Gerlands Beiträge zur Geophysik Bd. XV, Heft 2/4. Leipzig 1912.

³⁾ Zur Frage der Bestimmung der Herdtiefe eines Bebens und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen in den oberen Erdschichten. Mitteilungen der russischen seismischen Zentralkommission, St. Petersburg, Bd. V. Heft 3, 1913.

und den *Aläuten* an über ganz *Ost- und Südasiens* nebst den davor liegenden ozeanischen Gräben bis zu den Archipelen *Melanesiens* erstrecken, also bis zu den letzten Ausläufern der großen westpazifischen Inselwelt, den *Tonga-* und *Kermadec-Inseln* auf der einen Seite, und dem hinterindischen Archipel auf der andern Seite. Die Erdbebengebiete, welche an der Westseite des amerikanischen Doppelkontinents von Norden über *Mexiko* und *Mittelamerika* bis nach *Chile* sich hinziehen, bilden die zweite große Zone, von deren Epizentren Wellen der andern Kategorie ausgehen. Stellt man sich die Verteilung dieser beiden Zonen kartographisch dar, und verfolgt den Weg, welchen die Wellen aus jeder der beiden Zonen einschlagen, so gehen die aus der ersteren Zone stammenden Wellen unter dem inselreichen westlichen Teil des *Großen Ozeans* und dem asiatischen Kontinent bis nach *Europa* mit der größeren Geschwindigkeit; die von den *westamerikanischen* Epizentren ausstrahlenden Wellen legen dagegen den größten Teil ihres Weges mit der geringeren Geschwindigkeit unter dem Boden des *Atlantischen Ozeans* zurück, bevor sie die europäischen Stationen erreichen. Den schärfsten Ausdruck der Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinung haben wir in der Tatsache, daß auch diejenigen Erdbebenwellen, welche von den Epizentren der östlichen großen Zone nach Osten hin ausstrahlen, also einen Weg zurücklegen, welcher fast ganz allein unter dem Boden des größeren, inselfreien östlichen Teiles des *Großen Ozeans* gelegen ist, eine geringere Geschwindigkeit besitzen. Daß es sich bei dieser Feststellung nicht etwa um eine Folgeerscheinung der instrumentellen Ausrüstung der Stationen an der Westküste *Amerikas* handelt, geht daraus ganz unzweifelhaft hervor, daß auch in dem umgekehrten Falle, wenn nämlich Erdbebenwellen von Epizentren der zweiten großen Zone nach Westen ausgehen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine geringere ist, wie die Aufzeichnungen der Station *Apia* beweisen.

Wir haben im Vorstehenden absichtlich nur ganz allgemein von der östlichen und westlichen großen Erdbebenzone und ebenso von westlicher und östlicher Fortpflanzungsrichtung der Erdbebenwellen unter den Festländern und dem Meeresboden hindurch gesprochen. Der Grund dafür, daß wir die Wellen nicht auch in anderen Azimuten verfolgen können, ist in der eigentümlichen, unsystematischen Verteilung der Erdbebenstationen über die Erde hin, in ihrer Beschränkung auf die Hauptkulturländer und endlich in ihrer ganz verschiedenen instrumentellen Ausstattung zu sehen. Diese drei Gründe sind auch schuld daran, daß wir die Laufzeitkurven der positiven und negativen Abweichung erst von 9000 bzw. 8000 km ab zeichnen können, da für die geringeren Epizentralentfernungen uns die Zahl der zur Verfügung stehenden Stationen und der erforderlichen Daten sowie die Zuverlässigkeit derselben nicht genügend erschien, um eine

hinreichende Stütze für die Laufzeitkurven zu gewähren. Dieselben Gründe sind natürlich auch dafür entscheidend gewesen, daß wir die Kurven nur bis zu 12 000 km Epizentralentfernung haben ausziehen können.

Wenn wir uns nunmehr nach der Darlegung des Tatsachenmaterials der Erklärung der Erscheinung zuwenden, so wollen wir zunächst einen kurzen Überblick über den verschiedenen Bau der Erdkruste in ihren einzelnen Abschnitten geben und dann auf Grund der gewonnenen Vorstellungen die Beziehungen zwischen der Erdkruste und dem Erdinnern erörtern. Wir haben an anderer Stelle¹⁾ bereits ausführlich auf die merkwürdige Tatsache hingewiesen, daß zwischen der Verbreitung der jungen tertiären Gebirge, der tätigen oder erst seit kurzem erloschenen Vulkane, der Verbreitung der beiden großen Magmatypen, nämlich des pazifischen und atlantischen Magmas auf der einen Seite, und der Verbreitung der Epizentren von Großbeben auf der anderen Seite innige Beziehungen geographischer Art bestehen, welche mit aller Sicherheit darauf schließen lassen, daß die genannten Erscheinungen auch in einem kausalen Zusammenhang miteinander stehen. Am augenfälligsten ist die Tatsache, daß die Gebiete der tätigen Vulkane und der Epizentren von Großbeben auf der ganzen Erde zusammenfallen. Das trifft nicht bloß für den großen Vulkankreis zu, welcher den Großen Ozean vom südlichsten Teile *Südamerikas* an die ganze Westküste entlang bis zu den Vulkanen *Alaskas* und der *Aläuten* und auf der asiatischen Seite von *Kamtschatka* über *Japan*, die *Philippinen* bis zu den *Neuen-Hebriden* umsäumt, sondern auch in gleicher Weise für die *Mittelmeere*, nämlich das amerikanische, das europäische und das asiatisch-australische, wenn auch in diesen letzteren die Beziehungen nicht so ausgesprochen sind, weil die Zahl der tätigen Vulkane eine kleinere und ihre Anordnung keinen solchen ununterbrochenen Zusammenhang erkennen läßt, wie in der großen zirkumpazifischen Vulkanzone. Aber auch außerhalb dieser pazifischen und mediterranen Zone gibt es vereinzelte Gebiete reger vulkanischer und seismischer Tätigkeit, welche keinen Zusammenhang mit jungen Gebirgen erkennen lassen. Wir meinen z. B. das ostafrikanische Vulkangebiet, welches gleichzeitig durch Großbeben ausgezeichnet ist. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, daß alle andern Gebiete der Erde keine Erdbeben aufzuweisen hätten; im Gegenteil, es kommen hier ebenso schwere und ebenso verheerende Beben vor, wie in den genannten Zonen, der Unterschied in dem Auftreten der seismischen Erscheinungen beider Gebiete besteht jedoch darin, daß nur die der ersteren als Großbeben im eigentlichen Sinne zu bezeichnen sind, d. h. als Beben von großer mikroseismischer

¹⁾ Zur Erklärung der geographischen Verteilung der Großbeben. Petermanns Mitteilungen 1914, I, März-April.

Reichweite, während alle Beben außerhalb der beiden Zonen, mögen sie auch noch so verheerende Wirkungen haben, eine auffallend geringe mikro-seismische Ausbreitung auf und in der Erde besitzen.

Dieser durchgehende Unterschied in der Äußerung der seismischen Kraft ist, wie wir nachgewiesen haben¹⁾, auf die verschiedene Verbreitung des pazifischen und atlantischen Magmas zurückzuführen. Schon die Art des Auftretens und der Verbreitung der beiden Magmatypen läßt ebenso wie die Verteilung der Epizentren von Groß- und Kleinbeben einen durchgehenden Unterschied erkennen. Das atlantische Magma zeigt nämlich eine flächenhafte Ausbreitung und ist das eigentlich kontinentale Magmagestein, während das pazifische eine zonenförmige Anordnung aufweist und auf die Gebiete der Geosynklinalen beschränkt ist, aus denen in der Tertiärzeit unsere heutigen Hochgebirge hervorgegangen sind. Mit dieser verschiedenen Ausbreitung der beiden Magmaarten hängt es auch zusammen, daß die pazifische in einem fast ununterbrochenen Zusammenhange miteinander steht, die atlantische dagegen auf einzelne isolierte mehr oder minder ausgedehnte Gebiete des Festlandes und des Meeresbodens verteilt ist, von denen die ersten — und das ist eine Tatsache, auf welche wir ein besonderes Gewicht legen — seit langen geologischen Epochen keiner Gebirgsbildung mehr unterworfen waren. Um nur die wichtigsten dieser Gebiete mit atlantischem Magma anzuführen, nennen wir ganz *Afrika*, mit Ausnahme des *Atlas-Gebirges*, das alte *brasilische Gebirgsland* im Osten der gefalteten und vom pazifischen Magma unterlagerten *Kordillere der Anden*, den *kanadischen* und *baltischen Schild*, das *Angaraland* und die Reste des alten *Gondwana-Landes*, nämlich *Australien*, *Vorderindien* und *Madagaskar*. Hierzu gehören nun von den heute vom Meere bedeckten Teilen der Erdkruste auch der *Boden des Atlantischen Ozeans* südlich von *Island* bis zu dem Inselkranze, welcher die Verbindung zwischen der *Kordillere der Anden* und der *Westantarktika* darstellt, und der weite inselfreie östliche und südöstliche Teil des *Großen Ozeans*. Vom *Indischen Ozean* müssen wir vorläufig vollständig absehen, da die Verteilung der Erdbebenstationen in diesem Gebiet und ihre instrumentelle Ausstattung derart sind, daß wir über das seismische Verhalten dieses Ozeans noch nichts aussagen können. Die beiden eben genannten großen unterseeischen Erdkrustenteile sind nun aber gerade — und das ist eine weitere Tatsache von großer Bedeutung für unsere Frage — dieselben Gebiete, unter denen die Erdbebenwellen sich mit geringerer Geschwindigkeit fortpflanzen. Es liegt also nahe, anzunehmen, daß zwischen diesen beiden Erscheinungen irgendeine kausale

Beziehung besteht, von deren Art später die Rede sein wird.

Die dargelegte Verteilung der beiden Magma-provinzen gilt aber nur von der Tertiärzeit bis zur Gegenwart, wie *F. von Wolff*¹⁾ in seinem hochbedeutsamen Werke über den Vulkanismus des näheren begründet. Durch einen Vergleich der jetzigen Verhältnisse mit denjenigen, welche in betreff der geographischen Verteilung der beiden Magmatypen in früheren geologischen Epochen bestanden haben, kommt nun *v. Wolff* zu dem wichtigen Schluß, daß das pazifische Magma früher eine universale Verbreitung hatte, wie sie jetzt dem atlantischen zukommt, und daß das pazifische aus seiner herrschenden Stellung erst durch das atlantische bis auf seine gegenwärtige Zone beschränkt worden ist. Danach ist das pazifische Magma das ältere und das atlantische das jüngere, und in der eingetretenen Veränderung der Verbreitung der beiden Magmaarten sieht *von Wolff* eine naturgemäße Entwicklung der Magmaarten. Das ältere pazifische Magma nimmt wegen seines höheren Alters auch eine höhere Lage in der Erdkruste ein, und das jüngere atlantische Magma lagert in der Tiefe unter dem pazifischen. Wir können also annehmen, daß diejenigen Teile der Erdkruste, welchen das atlantische Magma unterlagert ist, eine größere Dicke und infolgedessen auch eine größere Starrheit besitzen. Diese Verhältnisse finden ihren Ausdruck vor allem darin, daß in diesen dickeren Erdrindenteilen Gebirgsbildungen seit den älteren geologischen Epochen nicht mehr vorgekommen sind. Die verschiedenen Erdkrustenteile müssen also je nach der mineralogischen Zusammensetzung ihrer tieferen Teile eine sehr verschiedene Mächtigkeit besitzen, und diese Eigentümlichkeit nehmen wir auch für die beiden genannten großen untermeerischen Gebiete des Atlantischen und Pazifischen Ozeans an. Es ist gar nicht anders denkbar, als daß diese durchgehenden Verschiedenheiten im vertikalen Aufbau der vom pazifischen und atlantischen Magma unterlagerten Krustenteile auch in den tieferen Zonen des Erdinneren ihren Ausdruck finden.

Wenn wir nun den Versuch machen wollen, eine plausible Erklärung der von uns zuerst konstatierten Abweichungen von der sog. mittleren Laufzeit zu geben, so müssen wir uns die Verhältnisse vergegenwärtigen, welche eine Laufzeitkurve in bezug auf die Dichteverteilung im Erdinneren anzunehmen gestattet. Aus der Gestaltung der Laufzeitkurve, welche eine gegen die Abszisse konkave Form besitzt, kann man den unzweideutigen Schluß ziehen, daß die Dichte nach dem Erdmittelpunkt hin zunimmt, eine Tatsache, welche ja schon längst aus den Dichtever-schiedenheiten der uns zugänglichen oberfläch-

¹⁾ Zur Erklärung der geographischen Verteilung der Großbeben. Petermanns Mitteilungen I, März-April 1914.

¹⁾ Der Vulkanismus, I, Allgemeiner Teil, I. Hälfte: Das Magma und sein geologischer Gestaltungsvorgang. Die vulkanischen Erscheinungen der Tiefe. Der submarine Vulkanismus. Stuttgart 1913.

lichen Gesteinsschichten und der mittleren Dichte der Erde erschlossen ist. Über die Art, wie die Dichte von der Oberfläche nach dem Erdmittelpunkt hin zunimmt, ob stetig oder sprungweise von Schicht zu Schicht, ist hiermit noch nichts ausgesagt, ebenso wenig kann man beweiskräftige physikalische Erscheinungen anführen, auf welche die Dichtezunahme zurückzuführen wäre, da ebensowohl der Druck der überlagernden Massen eine Kompression und damit verbundene größere Dichte der in der Tiefe liegenden Schichten herbeiführen könnte, wie eine Materialverschiedenheit in der Weise, daß tief im Innern der Erde schwere Metalle lagern. Ein sehr wichtiges Hilfsmittel zur Erforschung des Erdinnern hat nun aber erst in der letzten Zeit die Erdbebenforschung uns geliefert. Die Laufzeitkurve sagt uns nämlich, daß die Dichtezunahme in den oberen Teilen der Erde schneller erfolgt als in größeren Tiefen und gegen den Erdmittelpunkt hin sich noch mehr verlangsamt. Aber die Erdbebenforschung hat uns in dieser Hinsicht noch weitere Einzelheiten an die Hand gegeben und zeigt uns, wie die Dichtezunahme und damit die physikalischen Zustände sich ändern. Die verschiedenen für das Erdinnere nachgewiesenen Unstetigkeiten haben auf die Dichtezunahme insofern einen merklichen Einfluß, als eine Unstetigkeitsfläche eine scharfe und große Veränderung in der Dichtezunahme bedingt. Wir weichen von der hier dargelegten, weit verbreiteten Ansicht ab und haben in unserer Arbeit über das kolumbianische Beben am 31. Januar 1906 des näheren dargelegt, daß man nicht von Unstetigkeitsflächen in dem vorstehenden Sinne sprechen darf, sondern nur Unstetigkeitsschichten im Sinne von Übergangsschichten annehmen darf, in welchen die Dichtezunahme zwar rasch, aber nicht plötzlich vor sich geht.

Wir haben bisher die Dichteverteilung und die dadurch bedingte verschiedene physikalische Beschaffenheit in vertikaler Richtung betrachtet und müssen uns nun fragen, ob die Verhältnisse auf allen Radien die gleichen sind, oder sich Verschiedenheiten bemerkbar machen. Unter Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen würde die allgemein angenommene mittlere Laufzeitkurve zur Voraussetzung haben, daß sowohl die Oberflächengeschwindigkeit in allen Azimuten, wie auch die Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen der Erde auf allen durch den Erdmittelpunkt gehenden Achsen und dem zufolge die Dichteverteilung in allen Symmetrieachsen die gleiche ist. Zu dieser Schlußfolgerung stehen aber unsere eingangs mitgeteilten Ergebnisse über die Laufzeitabweichungen in offenbarem Widerspruch, so daß wir der mittleren Laufzeitkurve nicht die Bedeutung einer allgemein gültigen zusprechen können. Zur Erklärung der Verschiedenheit der Laufzeitkurven bzw. der ungleichen Verteilung der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Der geometrische Mittelpunkt des im weiteren Sinne genommenen Erdkerns fällt nicht mit dem geometrischen Mittelpunkt des Erdkörpers zusammen und der Kern ist homogen gebaut.
2. Die Dichteverteilung in dem im weiteren Sinne genommenen und konzentrisch liegenden Erdkern ist nicht symmetrisch. In beiden Fällen würden wir es mit einer exzentrischen Lage des Kerns zu tun haben. Bei einiger Überlegung wird man zu der Überzeugung kommen, daß die zweite Möglichkeit die allein zutreffende Erklärung geben kann.

Wir haben oben bereits die Gründe auseinander gesetzt, weswegen unsere Kurve der negativen Abweichung erst bei 8000 km Epizentralentfernung und die der positiven erst bei 9000 Kilometer Epizentralentfernung anfängt und warum wir beide nur bis 12 000 km haben ausziehen können. Bei $\Delta = 8000$ km dringen die Erdbebenwellen bis zu einer Tiefe von etwa 2500 km in das Erdinnere ein, und ebenso bei $\Delta = 9000$ km bis zu ca. 2800 km und $\Delta = 12000$ Kilometer entspricht einer Scheiteltiefe von 3800 km. Wir können also die Erdbebenwellen

Fig. 2. Schematische Darstellung des Erdinnern.

nur auf ihrem Wege innerhalb der angegebenen Tiefengrenzen verfolgen und dementsprechend auch nur über die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern innerhalb dieser Tiefengrenzen etwas aussagen. Jedenfalls kommen sowohl der Erdkern im weiteren Sinne, als auch Teile außerhalb dieses Kerns für unsere Frage in Betracht. Bei der Annahme der ersteren Möglichkeit müßten die Unstetigkeiten in verschiedenen Azimuten eine verschiedene Tiefenlage haben. Für die Fixierung der Unstetigkeiten ist allein die Stelle maßgebend, wo eine Änderung in den Laufzeiten, oder was gleichbedeutend ist, in den Geschwindigkeiten eintritt, also vollständig unab-

hängig von den absoluten Werten dieser beiden Größen. Da aber, wie wir gesehen haben, unsere beiden Laufzeitstücke den gleichen Verlauf nehmen, mithin die Änderungsstelle bei beiden die gleiche ist, so müßten wir annehmen, daß die Unstetigkeiten im Erdinnern überall dieselbe Tiefe haben. Das steht aber mit der ersten Annahme in Widerspruch, so daß nur die zweite Annahme übrig bleibt.

Wenden wir uns nun der zweiten Möglichkeit zu, so liegt es uns ob, nachzuweisen, welcher Art die Dichteverteilung (S. Fig. 2) im Erdinnern sein muß, damit sich die beobachteten Abweichungen von der mittleren Laufzeit erklären lassen. Wir wissen nun, daß unter dem *Atlantischen Ozean* und dem östlichen Teil des *Großen Ozeans* die Geschwindigkeiten einen geringeren Wert erreichen, als in dem westlichen, inselreichen Teile des *Großen Ozeans*. Da nun in der Geschwindigkeitsverteilung die Dichteverhältnisse des von den Erdbebenwellen durchlaufenen Materials zum Ausdruck kommen, so bleibt nur die Annahme übrig, daß der Erdkern heterogen gebaut ist, wobei die unsymmetrische Dichteverteilung in der Weise ausgeprägt ist, daß die dichteren Massen in denjenigen Teilen des Kerns angehäuft sind, welche unter dem westlichen Teile des *Großen Ozeans* gelagert sind, und die weniger dichten in demjenigen Teile, über welchem das östliche Becken des *Großen Ozeans* und der *Atlantische Ozean* gelegen sind. Nach diesen Feststellungen können wir jetzt sagen, worin die oben angedeuteten kausalen Beziehungen zwischen den Geschwindigkeitsverschiedenheiten einerseits und der geographischen Verteilung der beiden großen Magmatypen andererseits zu sehen sind: Wir betrachten nämlich die beiden großen, vom atlantischen Magma unterlagerten Rindenstücke des *Atlantischen* und *Großen Ozeans*, welche durch größere Mächtigkeit und damit zugleich größere Starrheit ausgezeichnet sind, als die stereographische Projektion derjenigen Abschnitte des Erdkerns, welche aus weniger dichtem Material zusammengesetzt sind. Das legt aber die Vermutung nahe, daß hierin irgendeine Art von Kompensation ausgedrückt ist.

Zum Schluß wollen wir nicht unterlassen, noch einmal ausdrücklich zu betonen, daß das Beobachtungsmaterial, auf welches wir uns bei unseren Deduktionen allein stützen können, noch zu dürftig ist, um auf Einzelheiten eingehen zu können, wir sind aber der Überzeugung, daß künftige, weiter ausgedehnte Beobachtungen in der Hauptsache unser Ergebnis nur bestätigen werden. In Anbetracht der Wichtigkeit, welche unserer Frage für die Physik der Erde zukommt, wollen wir noch auf die Folgen aufmerksam machen, welche sich nach unserer Ansicht hieraus für eine andere erdphysikalische Frage, nämlich für die Theorie der isostatischen Massenordnung in der Erdkruste, welche zur Erklärung der Schwereanomalien und der Lotablenkungen dient, ergeben.

Bei allen Arbeiten über Isostasie der Erdkruste wird bekanntlich die Annahme gemacht, daß die Massenanhäufungen in den Kontinenten und die Massendefekte in den Ozeanen durch entsprechende negative bzw. positive Massen in der darunterliegenden Erdkruste kompensiert sind. Bei der Reduktion der Schwereanomalien wird ferner davon ausgegangen, 1. daß die Kompensation für jeden Teil der Erdoberfläche vollständig ist, 2. daß der kompensierende Defekt bzw. Exzeß gleichmäßig durch die Erdrinde verteilt ist, und 3. daß die Ausgleichtiefe von 122 km keiner Veränderung von Punkt zu Punkt unterliegt. Die mittlere Dichte der Massen wird von *John F. Hayford* und *W. Bowie*¹⁾ in den Kontinenten gleich 2,67 gesetzt, und da die Dichte des Meerwassers gleich 1,027 ist, so kann man sich die Ozeane im Verhältnis zu den Kontinenten als angefüllt mit negativen Massen von der Dichte — 1,643 vorstellen. Was den ersten Punkt betrifft, daß nämlich die Isostasie für jeden Teil der Erdoberfläche vollständig ist, so kann diese Annahme nur angenähert zutreffen, und *Hayford* und *Bowie* haben selber durch ihre Berechnungen gefunden, daß sich sogar innerhalb des Gebietes der Vereinigten Staaten von Nordamerika Abweichungen von dieser Annahme finden. Viel schwerer wiegend sind die Einwände, welche sich hiergegen aus den Berechnungen von *H. L. Chrosthwait*²⁾ erheben lassen. Ist nämlich die Isostasie vollständig, so müßten die Berechnungen stets dasselbe Resultat ergeben, wie auch immer die Erdrinde um eine Beobachtungsstation herum beschaffen ist. Im engsten Anschluß an die von *Hayford* aufgestellten Formeln hat *Chrosthwait* untersucht, wie weit das isostatische Gleichgewicht der Erdrinde in *Vorderindien* vorhanden ist, und hat gefunden, daß sich hier die isostatischen Verhältnisse noch lange nicht soweit entwickelt haben, wie in den von *Hayford* und *Bowie* untersuchten Gebieten *Nordamerikas*. Auch *S. G. Burrdord*³⁾ betont in seinen Untersuchungen über die Entstehung des *Himalaya*, daß sich die Hypothese der Isostasie auf *Indien* nicht anwenden lasse, und *H. H. Hayden*⁴⁾ weist aus dem Ergebnis seiner Überslagsrechnungen nach, daß es vielleicht eine für ganz *Vorderindien* einheitliche Ausgleichsfläche überhaupt nicht gibt, denn für den *Himalaya* und den Osten der *Dekhan-Halbinsel* würde sie in 330 km Tiefe liegen, für den *Süden* der Halbinsel und die *Indogangetische* Tiefebene im Norden in 0 km und endlich für den

¹⁾ The effect of topography and isostatic compensation upon the intensity of gravity. U. St. Coast and Geodetic Survey. Washington 1912. Special Publication Nr. 10 and 12.

²⁾ Investigation of the theory of isostasy in India. Survey of India. Professional Paper Nr. 13. Dehra Dun 1912.

³⁾ Ebenda Professional Paper Nr. 12.

⁴⁾ Notes on the relationship of the Himalaya to the Indo-Gangetic Plain and the Indian Peninsula. Records of the Geol. Survey of India Bd. XLIII, 2 Th 1913.

Westen der Halbinsel in 600 km Tiefe. Wenn wir auch auf diese Größenwerte kein Gewicht legen wollen, so geht doch immerhin aus den beobachteten Lotablenkungen und Schwereanomalien unzweideutig hervor, daß die Ausgleichsfläche nicht überall die gleiche Tiefe hat, sondern wenigstens für Vorderindien in einer größeren Tiefe zu suchen ist.

Auch die Versuche, die Schwereanomalien durch die verschiedene geologische Beschaffenheit des Untergrundes zu erklären, müssen angesichts der geographischen Verteilung der Gebiete positiver und negativer Anomalien, wie sie *Hayford* und *Bowie* für die Vereinigten Staaten kartographisch dargestellt haben, als unzureichend bezeichnet werden. Nicht besser ist es mit dem Versuch ergangen, die positiven und negativen Anomalien mit den Gebieten von Sedimentablagerung einerseits und denjenigen der Denudation andererseits in Verbindung zu bringen. Gerade an diese letzteren Verhältnisse knüpft *Hayford*¹⁾ eine Erklärung der Wiederherstellung eines gestörten isostatischen Gleichgewichts an, indem er sich vorstellt, daß oberhalb der isostatischen Ausgleichsfläche eine Schicht besteht, deren Material eine gewisse Beweglichkeit besitzt, so daß ein Strömen in der Tiefe einen Ausgleich in den Dichteverhältnissen zweier benachbarten Gebiete herstellen kann, deren Massenverhältnisse durch Ablagerung und Abtragung von Sedimenten gestört worden sind oder durch tektonische Vorgänge in neuerer geologischer Zeit so starke Veränderungen erfahren haben, daß sie sich noch heute in einem Zustande der Verzerrung befinden. Dabei wird stillschweigend die Voraussetzung gemacht, daß unterhalb der Ausgleichsfläche die Massen sich im vollständigen Gleichgewicht befinden, welches dadurch bedingt wird, daß entweder das Material gleichmäßig homogen ist oder sich wenigstens aus konzentrischen Schichten von gleicher Dichte zusammensetzt. Eine solche Annahme steht aber im Widerspruch mit dem oben aus den seismischen Beobachtungen abgeleiteten Ergebnis hinsichtlich der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen. Wenn wir auch der Unterströmungshypothese nicht jegliche Bedeutung absprechen wollen, so meinen wir doch, daß sich tiefgehende Unterschiede in bezug auf die Lage der isostatischen Ausgleichsfläche dadurch nicht erklären lassen, sondern nur auf die von uns angenommene Heterogenität und unsymmetrische Dichteverteilung im Erdkern zurückgeführt werden können. Das ist um so berechtigter, als wir in den Grundlagen der Berechnungen von *Hayden* eine Bestätigung der von uns gefundenen Anordnung der unsymmetrischen Dichteverteilung erblicken können. Wir sehen also, daß sich sowohl aus den seismischen Beobachtungen, wie aus den geodätischen bestimmte Wechselbeziehungen ergeben, welche zwischen einzelnen Erdkrindenteilen

und den darunter liegenden Abschnitten des Erdkerns bestehen. Dem vom atlantischen Magma unterlagerten und daher mächtigeren und starren Meeresboden des *Atlantischen* und östlichen *Großen Ozeans* muß ein weniger dichter Teil des Erdkerns entsprechen, wie aus den seismischen Beobachtungen folgt; umgekehrt liegen die Verhältnisse in *Ost- und Südasien* sowie dem westlichen Teile des *Großen Ozeans*, wo sich in der Tiefe ein dichter Kernteil befindet, welchem nach den in *Indien* ausgeführten geodätischen Beobachtungen eine weniger dichte und weniger starre Erdkruste überlagert.

Besprechungen.

Gockel, A., Die Radioaktivität von Boden und Quellen. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1914. V, 108 S. und 10 Abbild. Preis M. 3,—.

Die vorliegende kurze aber inhaltreiche Monographie wird von vielen Seiten freudig begrüßt werden. Sie hilft einem lang gefühlten Bedürfnis ab. Das Interesse der ärztlichen Welt und das der gebildeten Kreise für den neuen Heilfaktor, den uns die Natur in den radioaktiven Quellen beschert hat, ist noch in ständiger Zunahme begriffen. Über die Verbreitung des Radiums in der Erdkruste und in der Atmosphäre herrschten bislang so viel irrige und übertriebene Anschauungen, daß eine Zusammenstellung von so kompetenter Seite von großem Wert ist. Die radioaktiven Meßmethoden sind jetzt endlich so weit durchgearbeitet, daß sich endgültige Leitsätze aufstellen lassen, sowohl für feste Körper, wie für Wasser, Gase und Emanationen. Seitdem man erkannt hat, welche wichtige Rolle das Radium im Haushalt der Natur spielt, wendet sich auch die Aufmerksamkeit des Meteorologen diesen Problemen zu. Es ist erstaunlich, welch großes Material der Verfasser in einer so kurzen und knappen Darstellung zu bringen weiß.

Die Darstellung geht aus von der Elster- und Geitelschen Entdeckung der Radioaktivität der Bodenluft. Luft, die längere Zeit eingeschlossen war, besonders in Kellern und Höhlen, zeigt ein erhöhtes Leitvermögen, das dem Emanationsgehalt oder der Ionisierung durch das umgebende Erdreich zu danken ist. Ein Draht, der negativ geladen längere Zeit in solcher Luft exponiert wird, nimmt die radioaktiven Zerfallsprodukte anreichert auf seiner Oberfläche auf. So läßt sich überall auf dem festen Lande und sogar auch auf dem Meere der Nachweis radioaktiver Substanzen erbringen. Wesentlich stärker aktiv als der gewöhnliche Erdboden sind die Gesteinsproben, die ihren Ursprung der Abscheidung aus Quellen danken, die aus der Tiefe hervordringen. An den Sedimenten der Badener und Nauheimer Therme beobachteten *Elster* und *Geitel* einen relativ hohen Gehalt an Radioaktivität; diese Untersuchungen sind von so großer Bedeutung, weil auf ihnen sich die ganze Meßtechnik für radioaktive Stoffe aufbaut. Mehr nach der quantitativen Seite haben dann vor allem die englischen Forscher die Untersuchungen ausgebaut. Wir heben die wichtigsten Resultate hervor:

1. Der Radiumgehalt von Gesteinen beträgt im Maximum einige milliontel Milligramm im Kilogramm

¹⁾ The relations of isostasy to geodesy, geophysics and geology. Science, N. S. 33. 1911.