

Astronomisch-geodätische Beiträge zur Geologie.

Von R. Schumann in Wien.

Der folgende Aufsatz ist ein Auszug aus einem Vortrage*) über einige Gegenstände, die in das Grenzgebiet zwischen Geologie und Geodäsie fallen; über sie sind in letzter Zeit astronomisch-geodätische und geodätische Untersuchungen angestellt worden, von denen angenommen werden darf, daß sie in geologischen Kreisen Teilnahme finden könnten. Unter ihnen befinden sich auch schwebende Fragen; die messende und rechnende Geodäsie stößt an mehreren Stellen auf systematische Widersprüche zwischen Theorie und Beobachtung, die nach Betrag und Gesetzmäßigkeit keinesfalls einer Beobachtungs-Ungenauigkeit, wie sie ja jeder Art von Messungen anhaftet, zur Last gelegt werden können, sie müssen gewiß Folgen einer weitreichenden, geophysischen Ursache sein und zu deren Klärung wird die Mithilfe der Geologie erbeten. Diese Gegenstände betreffen einesteils die Bewegung der Erdachse, andernteils die physische und die mathematische Gestalt der Erde.

I. Etwa seit 1887 weiß man aus fortlaufenden Beobachtungen der Polhöhen verschiedener Orte, daß diese einer veränderlichen Schwankung von einigen Zehntelsekunden unterliegen, zusammensetzbar nahezu aus zwei Perioden von einem Jahre und von 14 Monaten. Man versuchte sie zu erklären aus einer Verlegung der Rotationsachse im Erkörper selbst; Messungen auf beiden Halbkugeln ließen sich angenähert dadurch numerisch darstellen. Aber es scheinen noch andere Ursachen zu wirken; die aus den Beobachtungen errechnete „Polbahn“ läßt örtlich und zeitlich zu große Widersprüche übrig, numerisch lassen sich aus denselben Beobachtungen noch andere, bisher unerklärte Erscheinungen ableiten. Wohl erfolgte neuerdings eine andere numerische Ableitung der „Polbahn“, bei der ein Teil der Wider-

*) Am 20. November 1925 in der Geologischen Gesellschaft in Wien gehalten.

sprüche nicht in Erscheinung tritt: jene Ursachen bleiben daneben bestehen.

Angenommen wird bisher, daß die Beobachtungsorte selbst relativ unverändert liegen bleiben. Vielfach werden aber anderseits Schollenbewegungen periodischer, auch fortschreitender Art teils nachgewiesen, teils vermutet; abgesehen von den Pulsationen mit Perioden von einigen Sekunden und von den langanhaltenden Kontinentverschiebungen betrifft dies u. a. gezeitenmäßige Hebung und Senkung durch Sonne und Mond im Betrage von etwa 0.1 m. Bei den Polhöenschwankungen sind Periodizitäten teils aufgedeckt, teils vermutet worden, deren Dauer von den Ordnungen: Tag, Monat, Jahr sind. Mehrfach sind anderweit kleine Mißstimmigkeiten aufgetaucht: Unterschiede zwischen Morgen- und Abendzeitbestimmungen, Azimutschwankungen, starke regionale Polhöenschwankung, Veränderlichkeit von Längendifferenzen, die mittels Funkentelegraphie bestimmt wurden; sie könnten durch Veränderlichkeit des Beobachtungsortes selbst mit hervorgerufen werden.

Es entsteht die Frage, ob von Seiten der Geologie Bedenken vorliegen gegen horizontale Schollenbewegung periodischer Art, der Scholle in sich oder im ganzen, in einem Ausmaße von einigen Metern, mit Periodizitäten von der Dauer des Tages, des Monats, des Jahres; die Erde wäre als ein Konglomerat von Körpern verschiedener Größe und Dichtigkeit anzusehen, rotierend geführt durch den Weltraum, im Kraftfelde des Mondes und der Sonne. Kurzperiodische Schlingerungen könnten ein Zurechtrücken, dem Wirken der Schwerkraft gemäß, zur Folge haben.

Aus einer älteren, wertvollen Beobachtungsreihe ließ sich numerisch nachweisen, daß eine sich verändernde tägliche Beeinflussung der Polhöenmessung Widersprüche der vorhin erwähnten Art erklären kann. Zu erörtern bleibt, ob die für die gegenseitige Verschiebung jener Teilkörper und der Schollen erforderlichen Kräfte vorhanden sind und ob solche Verschieblichkeit stofflich zulässig ist; in letzterer Hinsicht erscheint ausreichend: durchschnittlich 1 mm auf 1 km, entsprechend einem Winkelwert von 0.2 Sekunden.

Von den sechs Stationen des 39. Parallels, auf denen die Polhöenschwankungen beobachtet wurden und zum Teil noch werden, liegen vier in Erschütterungsgebieten: in Japan, Turkestan, Sardinien, Westküste der U. S. A. Bei der Auswahl et-

waiger neuer Stationen ist die Mitarbeit der Geologen unentbehrlich.

II. Als gute Annäherung an die mathematische Gestalt der Erde dient bekanntlich das Rotationsellipsoid; dieses ist völlig bestimmt durch eine Gleichung zweiten Grades. Herr Prey (Prag) hat kürzlich auch für die Gestalt der physischen Erdoberfläche eine analytische Darstellung, wenigstens genähert in großen Zügen, gegeben. Die Erdoberfläche wurde von ihm in 544 Gradfelder geteilt, die mittlere Höhe wurde für jedes Feld ermittelt; die 544 Höhen wurden in bekannter Weise nach Kugelfunktionen entwickelt, aus der Darstellung ergab sich als mittlerer Fehler einer Höhe ± 200 m. Es ist ganz reizvoll zu verfolgen, wie bei schrittweiser Mitnahme höherer Glieder die größeren Abweichungen — Kontinente einschließlich Südpolkontinent, Tibet, Kaspi-See, Madagaskar — allmählich hervortreten. Diese analytische Form vermag die bisher üblichen, graphischen Behelfe der Darstellung angenähert zu ersetzen, sie ist wertvoll für gewisse theoretische Untersuchungen, zum Beispiel über isostatische Anziehungen.

Vorteilhaft hiefür wäre eine vollständigere Kenntnis der Meerestiefen; für die Zukunft trifft es sich gut, daß in den letzten Jahren

III. mehrere neue Arten von Tiefseeloten gebaut wurden, die sich im Gebrauche bewährten. An der Oberfläche des Meeres werden durch eine Explosion Schallwellen erzeugt, die Zeit bis zur Ankunft des Echos ist zu messen und aus ihr die Entfernung zu berechnen. Damit ist es jetzt möglich, binnen wenigen Sekunden Tiefen zu messen, während dazu früher Stunden gebraucht wurden. Die Ergebnisse sind mindestens ebenso genau, wenn nicht genauer als die nach den älteren Methoden. Das Meer hat sich dabei als ein Instrument hoher Präzision gezeigt, ähnlich wie es in bezug auf das Einrichten der „Mittelwässer an den Küsten“ auf einer Gleichgewichtsfläche schon vor etwa 40 Jahren nachgewiesen wurde und zwar durch Nachmessen mittels Präzisionsnivelements über Land.

In Kiel schuf Alex. Behm in rascher Folge mehrere, immer besser werdende Arten solcher Lote (Behmlot, Echolot), in den U. S. A. Dr. Hayes einen „Sonic Depth Finder“; ein weiteres entstand in England. Zahlreiche Probefahrten fanden statt; die U. S. A. entsandte zwei Kriegsschiffe an ihre Westküste, sie

konnten in 38 Tagen 5000 Lotungen vornehmen. Diese Messungen verteilen sich auf viele, nahezu parallele Profile, die sich auf Hunderte von Kilometern in den Großen Ozean hinausstrecken; zwischen benachbarten Profilen sind offenbar Beziehungen vorhanden. Man darf nunmehr bald vollständigere Tiefenpläne erwarten.

Auch auf dem Festlande sind diese Lote verwendet worden, und zwar sowohl zur Erforschung des Verlaufes unterirdischer Schichten, als zur Ermittlung der Höhe von Luftfahrzeugen.

Zur Messung der Zeit zwischen Abgang und Ankunft der Schallwellen sind mehrere neue „Kurzzeitmesser“ geschaffen worden. Die Geschwindigkeit des Schalles in Seewasser, rund 1500 m, erfordert, daß Zeitdauern von der Ordnung: 0.007 s gemessen werden, falls Tiefen von 5 m vorliegen. Diese Kurzzeitmesser erlauben noch 0.00001 s mit Sicherheit zu messen; sie haben eine vielseitige Verwendbarkeit.

Durch wiederholte Messung sowie durch Vergleich mittels unmittelbarer Peilung und durch andere Methoden ist mehrfach erwiesen worden, daß Tiefen zwischen 5 m und 20 m (wichtig für die Schifffahrt!) bis auf Bruchteile des Meters, sowie daß größere Tiefen, zum Beispiel 4000 m, bis auf etwa hundert Meter erhalten werden können. Vereinzelt kommen Fehlnotungen (fremde Echos?) vor.

IV. Im vergangenen Jahrzehnt ist von mehreren Forschern die schwierige Frage erneut aufgerollt worden, mit welcher Berechtigung man als mathematische Gestalt der Erde ein dreiaxsiges Ellipsoid annehmen könne. Zuletzt trat Herr Heiskanen vom Finnländischen Geodätischen Institut dieser Frage näher in einer „Untersuchung über Schwerkraft und Isostasie“. Er versucht die zur Zeit offene Frage der Isostasie dadurch zu klären, daß er eine große Zahl von Schwerkraftmessungen sowohl nach der Hypothese von Pratt als nach jener von Airy reduziert. Beim Vergleich mit der „normalen“ Schwere stellt sich nach Herrn Heiskanen heraus, daß die Airysche Annahme mindestens ebensogut, teilweise auch besser paßt, das heißt kleinere Anomalien übrig läßt, als die Prattische.

Die vor etwa 70 Jahren aufgedeckten, immer wieder bestätigten Widersprüche systematischer Art bei astronomisch-geodätischen und bei Schweremessungen harren der Erklärung; keinesfalls beruhen sie auf Unsicherheit der Messungen, sie

sind gebietweise mehrere hundert Mal größer als ihre mittleren Fehler. Angesichts der herrschenden Gärung in den Ansichten wäre es verfrüht, jetzt schon eine Entscheidung für oder wider treffen zu wollen.

Mag man nun die Schwerewerte nach der einen oder der anderen Art reduzieren, immer zeigt sich gebietweise Zusammengehörigkeit. Es eröffnet sich die Möglichkeit, Schlüsse auf Massen-anordnung, auch auf die Gestalt der Erde zu ziehen. Dies kann dadurch geschehen, daß man die Koeffizienten g_A und b der Formeln für die Schwerkraft gebietweise berechnet und die so erhaltenen Gruppen von Zahlen nach Polhöhe und Länge ordnet und ausgleicht. Die zugrunde liegende, theoretisch wohl begründete Schwereformel lautet:

$$g_{\varphi} = g_A (1 + b \sin^2 \varphi)$$

wo φ die Polhöhe bedeutet; für $\varphi = 0$ erhält man die Schwerkraft g_A im Äquator, aus b läßt sich die Abplattung im Meridian berechnen.

Herr Heiskanen teilt seine 656 Endwerte der Schwereanomalien in vier Gruppen; folgende Übersicht zeigt sie:

	g_A cm		b	Abplattung
1. Europa-Algier	978.080	(1 + 0.00	5253. $\sin^2 \varphi$)	1 : 293.8
2. Europa-Afrika	.074	(1 +	5260. $\sin^2 \varphi$)	1 : 294.5
3. Amerika	.030	(1 +	5322. $\sin^2 \varphi$)	1 : 299.8
4. Asien	.048	(1 +	5318. $\sin^2 \varphi$)	1 : 299.2
Mittlerer Fehler	± 7		± 13	± 1.1

Jeder dieser zwölf Ziffern fügt Herr Heiskanen ihren mittleren Fehler bei, der Einfachheit wegen werden in der untersten Zeile nur Durchschnittswerte gegeben. Man erkennt, daß die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (1. und 2. Zeile, 3. und 4. Zeile) mehrmals größer sind als diese mittleren Fehler.

Die amerikanischen und die asiatischen Werte gehören je einer Hälfte eines mittleren Meridianes an; die beiden Abplattungen 1 : 299.8 und 1 : 299.2 stimmen gut überein, ihr Mittel ist etwas kleiner als der zwischen 1 : 296 und 1 : 297 liegende Durchschnittswert, der bisher als bester für die ganze Erde angenommen wurde.

Andererseits ist von dem ganzen mittleren, über Europa--Afrika streichenden Meridian nur die diesseitige Hälfte gut mit

Messungen besetzt, die jenseitige fällt auf den Großen Ozean. Von der diesseitigen Hälfte ist wieder der nördliche Quadrant sehr dicht besetzt; er allein schon liefert zuverlässig eine stärkere Abplattung, die bei der zweiten Zeile hinzutretenden Messungen südlich vom Äquator bestätigen dies.

Mit Recht nimmt deshalb Herr Heiskanen, gestützt auf die Theorie, eine Abweichung des Äquators (entsprechend auch der Parallelkreise) von der Kreisfigur an; der Achsenunterschied ist nach ihm: $690 \text{ m} \pm 75 \text{ m}$; die größere Achse liegt dabei im Meridian 18° ö. (198 ö.) Gr., die kleinere im Meridian 72° w. (108 ö.) Gr. —

Es liegt nahe, diese Ergebnisse des Herrn Heiskanen früheren Versuchen gleichen Zieles gegenüber zu stellen; von den Ergebnissen einer älteren Arbeit des russischen Generals von Schubert absehend,*) erscheinen folgende Werte erwähnenswert:

Berechner		Methode	Meridian durch die kleine große Äquatorachse		Achsen- unterschied	
1861 } 1. 1866 } 1878 }	Clarke	Gradmessungen	76° w.	83° w.	7° ö.	} 1—2 km 465 m
			74.5 w.			
			98 w.			
2. 1915	Helmert	Schweremessungen	107 w.	17 w.		230 m
3. 1922	Lambert	Polhöhen-Schwankg.	90 w.	0		300 m
4. 1924	Heiskanen	Schweremessung	72 w.	18 ö.		$690 \text{ m} \pm 75 \text{ m}$
			gegen Greenwich			

In dem Werke des Herrn L. Kober: „Der Bau der Erde“, Berlin 1921, findet man auf S. 308 die Angabe: „Die Erde hat zwei Schwingpole. Der eine liegt in Sumatra, der andere in Ecuador.“ Diese Annahme beruht auf Schlüssen über Vorgänge in der Vorzeit; es würden sich demnach die Zahlen zum Vergleich ergeben:

5. 1921 Kober, $78^{\circ} \text{ w.}, 12^{\circ} \text{ ö. Gr.}$

Dieses sehr gute Zusammentreffen ist bemerkenswert.

Durch einfaches Mittelbilden aus den fünf Werten folgt, daß der Meridian 86° w. (94° ö.) Gr. die kleinere, jener über 4° ö. (184° ö.) Gr. die größte Abplattung aufweist. Wichtig ist, zu beachten, daß vier wesentlich verschiedene Methoden zugrunde

*) Siehe hierzu: Astronomische Nachrichten Nr. 1201, Spalte 11/12, Helmert, Höhere Geodäsie I. S. 598.

liegen; umso wertvoller und reizvoller ist die gegenseitige Bestätigung ihrer Endwerte.

Einiger Zweifel besteht über den Betrag der Abplattung im Äquator. Schon vor zehn Jahren hat Herr A. Berroth darauf aufmerksam gemacht,*) daß kreisförmige Gestalt des Äquators und Verschiedenheit der Trägheitsmomente in bezug auf solche Achsen, die im Äquator liegen, wohl miteinander vereinbar sein können „infolge regionaler oder kontinentaler Massenanhäufungen oder -defekte. Beides wird wohl zusammenwirken.“

Hiefür würde nach den neuesten Heiskanen'schen Untersuchungen der Umstand sprechen, daß die nach Airys's Hypothese isostatisch reduzierten Grädmessungen gut übereinstimmende Ellipsen ergeben in den drei Halbmeridianen über Amerika, Europa - Afrika, Indien.

Im ganzen sind wohl Andeutungen gegeben, für gewisse Untersuchungen die Erde als dreiachsiges Ellipsoid anzusprechen; weitere Bestätigungen bleiben erwünscht, entsprechende Untersuchungen sind im Gange.

Die Abplattung 1:297 der Erde zwischen Äquator und den Polen ist zwar eine so kleine Größe, daß das Auge sie an einem Globus nicht zu erkennen vermöchte; trotzdem wird der daraus folgende Krümmungswechsel in der Figur zwischen Pol und Äquator mit erstaunlicher Genauigkeit und Stetigkeit inne gehalten, und trotz ihrer Kleinheit verursacht diese Abplattung die ungeheure, majestätische Erscheinung der Präzession mit ihrem Gefolge von Änderungen in den Jahreszeiten und Klimawechseln. Deshalb verdient eine etwa hundertmal kleinere Abplattung im Äquator ebenfalls gebührend beachtet zu werden.

Wien, April 1926.

*) Gerlands Beiträge zur Geophysik, Band XIV, S. 249.