

B 22.316

44
100
58

II.
89.
B.
10

ÜBER
GEODÄTISCHE ARBEITEN IN UNGARN
BESONDERS ÜBER
BEOBACHTUNGEN MIT DER DREHWAGE

BERICHT
AN DIE XVI. ALLGEMEINE KONFERENZ
DER INTERNATIONALEN ERDMESSUNG

VON

BARON ROLAND EÖTVÖS
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BUDAPEST



22.316

BUDAPEST
K. U. K. HOFFBUCHDRUCKEREI VIKTOR BOKAYANSKY
1889

ST. P. ...
KONFERENZ

II. 89B 10

D 115.754

2451.



01 001 000000 0406

Miskolci Egyetem

10a

ÜBER
GEODÄTISCHE ARBEITEN IN UNGARN
 BESONDERS ÜBER
BEOBACHTUNGEN MIT DER DREHWAGE

BERICHT
 AN DIE XVI. ALLGEMEINE KONFERENZ
 DER INTERNATIONALEN ERDMESSUNG

VON

BARON ROLAND EÖTVÖS
 PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BUDAPEST

20



József Rádor Műegyetem
 Bányai, Kohó- és Erdőmérnöki Kar
 KÖNYVTÁRA
 SOPRON
 B. 22.316. szám

BUDAPEST
 K. U. K. HOFBUCHDRUCKEREI VIKTOR HORNYÁNSZKY
 1909.

~~M. K. N. KÖZPONTI
 STATISZTIKAI HIVATAL
 KÖNYVTÁRA.~~

37999

2349

ME FŐKÖNYVTÁR
2004
LELT-ELLENŐRZÉS

528(439) = 30

I.M.E. Központi Könyvtára
334 098
MISKOLC

A Központi Statisztikai Hivatal
könyvtárának állományából leírt
és a *Műegyetemi Sajtó* könyv-
tárának átengedett sajtótermék.

KATAL. GUSZBA FELVEVE
EABARE

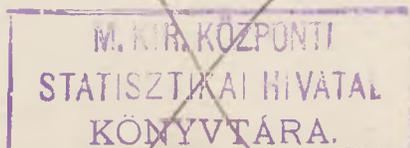
EINLEITUNG.

Die fünfzehnte allgemeine Konferenz der internationalen Erdmessung sprach den Wunsch aus, dass die vom Berichterstatter begonnenen Schwereuntersuchungen mit der Drehwage fortgesetzt werden mögen. Dieser Wunsch fand bei den Leitern der königlich ungarischen Regierung die dem Ansehen dieser gelehrten Körperschaft gebührende Beachtung. Seine Exellenz Kultusminister GRAF ALBERT APPONYI, mit ganzer Seele bestrebt die Teilnahme Ungarns an jedem kulturellen Werke der Menschheit nach Kräften zu fördern, richtete bald nach Schluss der Konferenz die ehrende Frage an mich, was nun zu tun sei.

Nach Entgegennahme und Erwägung meines diesbezüglichen Vortrages bewirkte er nun mit bereitwilligster Zusage Seiner Exellenz des Herrn Ministerpräsidenten und Finanzministers DR. ALEXANDER WEKERLE, die Aufnahme eines jährlichen Beitrags von 60.000 K in das k. ung. Staatsbudget, welche Summe mir für die drei Jahre 1907, 1908 und 1909 zugesichert und behufs Untersuchungen mit der Drehwage zur Verfügung gestellt wurde. Mit diesen so vertrauensvoll dargereichten Mitteln ist es mir zur Pflicht geworden, mein möglichstes zu tun bezüglich der Feststellung und Vervollkommnung der Drehwagenmethode, das ihr ausgesteckte Ziel, die möglichst weitgehende Erkenntnis der Massenverteilung in der Erdkruste, stets im Auge behaltend.

Vor Allem hatte ich die grundlegende Frage zu lösen, ob die Drehwage tatsächlich gestattet die Differentialquotienten der Schwerkraft zu messen, frei von allen störenden Einflüssen und zwar in Übereinstimmung mit den Angaben des Pendels und des Lotes. Im Anschluss an die Drehwagenbeobachtungen ward es da unvermeidlich auch Pendelmessungen und Polhöhenbestimmungen auszuführen. Dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Prof. L. v. BODOLA habe ich es zu verdanken, dass es mir möglich ward für diese letzteren Arbeiten den an seinem Lehrstuhl betätigten Herrn Adjunkten KARL OLTAY zu gewinnen. Von allen anderen Pflichten befreit, begab sich Herr OLTAY nach Rotsdam, wo er im königl. preussischen Geodetischen Institute die entgegenkommendste Aufnahme fand und sich durch mehrere Monate dauernde Einübung die erforderliche Fertigkeit in

1*



der Ausführung von Polhöhenbestimmungen, so wie auch von relativen Pendelmessungen aneignete. Mit einem Vierpendelapparate von Stückrath (System des geodetischen Instituts) und den anderen erforderlichen und sorgfältigst untersuchten Instrumenten versehen, kehrte Herr OLTAY heim und begann die ihm anvertrauten Arbeiten.

Für diese zuvorkommende Hülfe, welche uns über die Schwierigkeiten der ersten Schritte hinweghalf, sei dem k. preussischen Geodetischen Institute auch hier unser ehrerbietigster Dank ausgesprochen.

Als die erste, wichtigste meiner Aufgaben betrachtete ich nun die Beschaffung eines ausreichenden Datenmaterials, welches, wenn auch nur auf ein kleineres Gebiet sich beziehend, durch die genügend dichte Verteilung der Beobachtungsstationen in demselben es ermöglichte, die Resultate der Drehwagenbeobachtungen einerseits, der Pendelbeobachtungen und der Lotabweichungsbestimmungen andererseits kritisch miteinander zu vergleichen. Zu diesem Zwecke durchforschten meine bewährten Arbeitsgenossen, die Herrn DR. D. PEKÁR und E. FEKETE mit der Drehwage ein ungefähr 400 Quadratkilometer umfassendes Gebiet der ungarischen Tiefebene (Alföld), östlich von Arad bis zum Fusse des angrenzenden Gebirges.¹ Im Jahre 1906 sind in diesem Gebite 85, im Jahre 1907 weitere 84 Stationen mit der Drehwage untersucht worden.

Darauffolgend, im Jahre 1908 begab sich dann Herr K. OLTAY in dasselbe Gebiet und bestimmte dort, mittelst relativer Pendelbeobachtungen, die Schweredifferenzen zwischen sieben zweckdienlich gewählten Stationen und ausserdem auch die relativen Lotabweichungen im Meridiane an ebenso vielen Punkten.

Durch Aufarbeitung des so gewonnenen Beobachtungsmaterials ward eine feste Grundlage unserer Methode geschaffen, und wir konnten dann die Untersuchung auch grösserer Gebiete in Angriff nehmen. Wir begannen diese Arbeit im Herbste 1908 mit einer teilweisen Durchquerung der Ebene und der sie durchschneidenden Flussbetten der Theiss und der Donau. Die Reise, an der diesmal auch Herr STEFAN RYBÁR als emsiger Beobachter teilnahm, ging von Arad aus, führte von dort in einer Zickzacklinie nach Westen und endete, als ihr die Unbill des Winters Einhalt gebot, zwischen Szeged und Szabadka, ungefähr 150 Kilometer vom Ausgangspunkte.

Herr K. OLTAY folgte auch diesmal den Spuren der Drehwage und bestimmte mit dem ihm anvertrauten Pendelapparat die Schwerkraftsdifferenzen zwischen den Stationen Arad, Makó, Szeged, Szabadka und Baja. Diese Reise ins Unbekannte, fern von allen Bergen oder anderen sichtbaren Unregelmässigkeiten der Massenverteilung hatte ihren ganz eigentümlichen Reiz. Auf der glatten Ebene wie ein Schiff auf offenem Meere fortschreitend, gaben unsere Instrumente doch immer einige Andeutungen darüber, was am Grunde lag und wir konnten unsere Schritte stets so lenken, dass wir einem Massenzuge folgend, oder diesen durchquerend, zur besseren Erkenntnis desselben gelangten.

¹ Siehe den Bericht des Verfassers in den Abhandlungen der XV. Konferenz der internationalen Erdmessung.

Zuerst verfolgten wir einen in der Tiefe nach Westen verlaufenden Bergrücken, dann stellte sich uns ein diesen unter nahezu rechtem Winkel kreuzender Massenzug entgegen, dessen eigentümlicher Charakter sich auch in den magnetischen Störungen äusserte, welche dort mit den Störungsgradienten der Schwerkraft parallel und gleichgerichtet sind. Weiter im Westen scheint eine weniger gestörte Scholle zu folgen.

Doch wie eine einzelne Durchquerung eines Landes zur Fertigstellung seiner Topografie nicht ausreichen kann, so wäre es auch verfrüht, aus den Beobachtungen dieser ersten Schritte endgültige Schlüsse auf die Verteilung der in der Tiefe des Alföld gelegenen Massen ziehen zu wollen. Hierzu bedarf es vielmehr einer systematischen, die fortgesetzte Arbeit vieler Jahre beanspruchenden Landesaufnahme, wie ich sie mit weiterer Unterstützung der königl. ungarischen Regierung ins Werk setzen zu können hoffe.

Beobachtungen und Resultate sollen baldigst in besonderen Publikationen mit der zur richtigen Einsicht erforderlichen Ausführlichkeit bekannt gegeben werden. Dieser Bericht soll sich dagegen in möglichster Kürze auf Forschungsergebnisse mehr allgemeinen Charakters beschränken, die auch einige Aufklärung darüber geben mögen, welche Betätigung der Drehwage hauptsächlich in der Erforschung unsichtbarer Massenverteilung zukommt.

In den Rahmen dieses Berichtes wurden dementsprechend nebst den im freien Felde ausgeführten Beobachtungen mit der Drehwage auch Bestimmungen der Erdmagnetischen-Kraft und im Laboratium ausgeführte Untersuchungen einbezogen, welche den Zweck hatten, die Beobachtungsmethoden zu verbessern und deren Grundlagen fester zu bauen.

I. Neuerungen am Instrumente und an der Beobachtungsmethode.

Wenn auch die von mir bisher benützten Instrumente, wie ich sie in meinem Berichte von 1906 beschrieben, den hauptsächlichsten an sie gestellten Forderungen entsprachen, habe ich mir doch die Aufgabe gestellt zu untersuchen, ob sie nicht durch solche ersetzt werden könnten, die bei gleicher oder gar gesteigerter Genauigkeit die Vorteile bequemerer Behandlung und schnellerer Beobachtung zuliessen.

Schon um die Schwierigkeiten und Kosten des Transports vermindern zu können, wären kleinere Instrumente sehr erwünscht. Eine vorangehende Überlegung, so wie auch die tatsächlich ausgeführte Probe zeigte mir aber, dass in dem Sinne einer solchen Verkleinerung nicht sehr weit fortgeschritten werden darf.

Die Gleichgewichtslage des Drehwagebalkens ist nämlich ausser den beiden Hauptkräften, d. i. der der Torsion entgegenwirkenden elastischen Kraft des Drahtes und den horizontalen Komponenten der Schwerkraft noch von anderen störenden Einflüssen bedingt, die möglichst beseitigt oder als Korrekturen voll berücksichtigt werden sollen. Die hauptsächlichsten dieser letzteren sind:

1. Verschiebungen der Gleichgewichtslage in Folge elastischer Nachwirkung,
2. Verschiebungen in Folge von Temperaturänderungen wegen der remanenten Drillung des Drahtes,
3. störender Einfluss magnetischer Kräfte,
4. Wirkungen des den Balken umgebenden Gehäuses hauptsächlich in Folge der Wärmestrahlung seiner ungleich erwärmten Wände,
5. Ungleichheiten des Druckes in Folge ungleicher Temperatur der Luft im Gehäuse.

Die beiden ersten dieser Störungen sind allein vom Aufhängedrahte abhängig, die dritte ist je nach der Substanz des Balkens mit dessen Masse proportional. Die unter 4. und 5. angeführten Störungen werden aber von Kräften erzeugt, die an der Oberfläche des Balkens wirken, somit zusammen mit dem Flächenmomente desselben wachsen.

Die Verschiebung ν der Gleichgewichtslage des Balkens kann also dargestellt werden durch einem Ausdruck von der folgenden allgemeinen Form :

$$\nu = \varepsilon + \alpha(t - t_0) + \frac{\mu M}{\tau} + \lambda \frac{\Sigma F l}{\tau} + \gamma \frac{K}{\tau}$$

hier ist :

- ϵ die Verschiebung in Folge elastischer Nachwirkung,
- α der Temperaturkoeffizient des Drahtes und $(t - t_0)$ die Temperaturänderung,
- μ das magnetische Drehungsmoment der Masseneinheit, M die Masse des Balkens,
- τ die Torsionskonstante des Drahtes,
- λ das Drehungsmoment aller an der Oberfläche wirkenden Kräfte für das Flächenmoment $= 1$ und $\Sigma F l$ das Flächenmoment,
- γ das Drehungsmoment der Schwerkraft an einem Balken vom Trägheitsmomente $= 1$ und K das tatsächliche Trägheitsmoment.

Da wir nun zu trachten haben, dass das letzte Glied der rechten Seite dieser Gleichung, welche die allein zu messende Grösse darstellt, alle anderen den Störungen entsprechenden Glieder möglichst überrage, so werden wir dazu veranlasst unseren Instrumenten Dimensionen zu geben, bei welchen nicht nur $\frac{K}{\tau}$ sondern schon K für sich d. i. das Trägheitsmoment des Balkens möglichst gross sei. Nur in diesem Falle wird nämlich dieses zu messende Glied der Gleichung die beiden vorangehenden λ und μ enthaltenden Glieder gehörig überwiegen. Allerdings stellt sich uns noch die Frage, ob derselbe Vorteil nicht auch durch Verringerung der Dimensionen und damit auch der λ und μ enthaltenden Glieder erzielt werden könnte.

Ohne Mühe und Kosten zu scheuen, habe ich diese Frage zur Herstellung und Prüfung kleinerer Instrumente zu lösen gesucht.

Mit Hilfe des Herrn Mechanikers F. Süss in Budapest konstruirte ich drei neue Typen des Instrumentes, die vom Genannten den hochgestellten Anforderungen entsprechend ausgeführt wurden. Und zwar:

Erstens, ein doppeltes Instrument mit nur 10 Centimeter langen und 5 Gramm schweren Balken. Das Trägheitsmoment der einzelnen Balken ist rund 90 C. G. S., τ kleiner als 0,002, mit einer Schwingungsdauer von nahezu 700 Secunden.¹⁾

Auf eine möglichst vollkommene Ausgleichung der Temperatur im Innern des Instrumentes wurde hier besondere Sorgfalt verwendet. Das ganze auch den Aufhängefaden umfassende Drehwagengehäuse von mehr als 65 Centimeter Höhe ward nämlich in einen dreiwandigen Metallcylinder versenkt und mit einem kupfernen Schlangenrohre umgeben, in dem kreisendes Wasser zur Sicherung einer möglichst gleichmässigen Temperatur dient. Die Ablesung des Balkenstandes geschieht mit Hülfe von Prismen, die das Licht von den oben befestigten Skalen hinab zu den Balken und von diesem wieder hinauf in die über dem schützenden Gehäuse angebrachten Fernröhre leiten.

Zweitens wurde ein doppeltes Instrument hergestellt, ähnlich dem in meinem Be-

¹⁾ Bei den ältern, bisher benützten Instrumenten sind die Balken 40 Centimeter lang, 80 Gramm schwer, ihr Trägheitsmoment beträgt ungefähr 20 000 C. G. S. und bei einer Schwingungsdauer von nahezu 700 Secunden $\tau = 0,4$.

richte von 1906 beschriebenen, aber von kleineren Dimensionen: Balkengewicht = 20 Gr., Balkenlänge = 20 C., Trägheitsmoment = 2000 C. G. S., $\tau = 0,04$.

Das *dritte Instrument* ist eines mit drei geraden, an beiden Enden gleichgeformten Balken, also ohne tiefer hängendem Gewichte und somit nur zur Messung der Grössen $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ und $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$ geeignet. Die drei Balken hängen übereinander in abgesonderten Gehäusen, deren Wände sich in Winkeln von 120 Grad durchschneiden. In Folge dieser Einrichtung ermöglicht das Instrument eine besonders rasche Ausführung und Wiederholung der Beobachtungen. Das Balkengewicht beträgt hier 20 Gr., die Balkenlänge 22 C., das Trägheitsmoment 2100 C. G. S. die Schwingungsdauer rund 700 Sekunden.

Auf die Einzelheiten der Konstruktion dieser Instrumente, welche manches Neuartige aufweisen, kann hier nicht näher eingegangen werden.

Die mit ihnen angestellten Proben betreffend sei aber vor allem erwähnt, dass das an erster Stelle erwähnte kleinste Instrument, auf dessen Konstruktion so viel Sorgfalt verwendet wurde, unseren hoffnungsvollen Erwartungen durchaus nicht entsprach. Mochten wir den Balken auf einen feinen, auch elektrisch leitend gemachten Quarzfaden oder auf einen Metalldraht aufhängen, die Einstellung der Gleichgewichtslage zeigte doch immer eine Unsicherheit, welche zuweilen bis zur Grösse eines ganzen Skalenteiles und darüber anwuchs, während das ältere grössere Instrument unter denselben Verhältnissen seine Einstellung bis auf ein, höchstens zwei Zehntel eines Skalenteiles sicher beibehielt. Hiebei waren eventuelle Störungen durch magnetische Kräfte ausgeschlossen, da die Intensität des magnetischen Feldes künstlich nahezu gleich Null gemacht wurde.

Dieser Misserfolg zeigt zur Genüge, dass es nicht leicht möglich ist, bei Verringerung der Dimensionen des Instrumentes das Drehungsmoment der störenden Kräfte in gleichem Masse zu verringern, wie die der erforderlichen grossen Schwingungsdauer entsprechende Torsionskonstante τ .

Viel bessere Resultate als dieses kleinste, ergaben die beiden neuen Instrumente mittlerer Grösse. Probeversuche mit ihnen im geschlossenen Raume des Laboratoriums ausgeführt, berechtigen zur Hoffnung, dass sie auch beim Gebrauche im freien Felde die grösseren schon ausprobierten Instrumente an Genauigkeit erreichen, oder diesen um nicht vieles nachstehen dürften.

Da es mir nicht gelang eine Verschärfung der Beobachtung mit Hülfe von Instrumenten neuerer Konstruktion zu erreichen, suchte ich umsomehr diese durch bessere Erkenntnis der störenden Einflüsse zu erzielen. Die bedeutendsten derselben sind die Folge von Temperaturänderungen, die bei Beobachtungen im Freien an einem Tage nicht selten die Höhe von zehn bis zwanzig Celsius Graden erreichen. Durch lang fortgesetzte Untersuchungen gelang es mir zu erkennen, dass ein solcher Einfluss in zweierlei Weise auf die Gleichgewichtsstellung des Balkens wirksam ist; erstens durch seine schon früher erkannte Wirkung auf den Draht, zweitens durch die ungleiche Erwärmung des Balkens und der umgebenden Kastenwände. Mit Zuhülfenahme eigens dazu dienender

Apparate konnte ich diese beiden Wirkungsarten von einander trennen und nachweisen, dass die erste, wie es schon bekannt war, durch einen individuellen Temperaturkoeffizienten des Drahtes bedingt sei, während die zweite von der Lage des Balkens im Kasten abhängig und mit der Geschwindigkeit der Temperaturänderung proportional ist. Mit Hilfe dieser Erkenntnis konnte ich dann Beobachtungen, die in einer Entfernung von kaum drei Metern von einem bis zum Glühen geheizten Ofen während dessen Erwärmung und Abkühlung angestellt wurden, mit gutem Erfolge auf konstante Temperatur reduzieren. Es ist demnach zu hoffen, dass es auf diesem Wege fortschreitend möglich sein wird, auch von solchen Beobachtungsdaten Nutzen zu ziehen, die im Freien bei hellem Tage unter dem von der Sonne beschienenen Dache des Schutzhäuschens erhalten wurden. Für die bei den langsameren Temperaturänderungen der Nacht gewonnenen Daten ist diese Korrektur kaum von Belang, daher kann ich mich hier auf diese kurzgefasste Erwähnung dieser noch näher zu erforschenden Tatsache beschränken.

Von zwei auch an den älteren Instrumenten vorgenommenen Änderungen habe ich aber noch zu berichten.

Erstens habe ich diese mit neuen Arretierungsvorrichtungen versehen, welche durch Vermittlung von ausserhalb des Gehäuses angebrachten Kurbeln dem Balken und auch dem hängenden Gewichte während des Transportes feste Lagen sichern und die Mühe der Neuaufstellung der Instrumente wesentlich erleichtern. Zweitens wurde an diesem eine Vorrichtung angebracht, welche es ermöglicht, die Dämpfung der Schwingungen nach Belieben zu vergrössern und somit die Ablesungen der sich neu einstellenden Gleichgewichtslagen in kleineren Zeitintervallen vornehmen zu können. Die Vorrichtung besteht aus je zwei horizontal liegenden Kupferplatten, die am Boden und an der Decke der die Balken einschliessenden Gehäuse derart befestigt sind, dass sie durch Schrauben gehoben und gesenkt werden können. Die so erreichbare Veränderung der Kastenhöhe hat eine wohl merkbare Veränderung der Dämpfung zur Folge, und es ist leicht, diese bis zu der Grenze zu steigern, welcher eine aperiodische Bewegung entspricht. Ist dieser Grenzwert nahezu erreicht, dann genügt schon weniger als eine Stunde dazu, dass der bei einer Drehung in die neue Stellung in noch so heftige Bewegung geratene Balken sich wieder beruhigt. Da die hierzu bemessene Zeit beim früheren Gebrauche des Instrumentes nicht kleiner als 1 Stunde und 40 Minuten war, erreichten wir durch diese neue Dämpfungsvorrichtung den Vorteil von nahezu doppelt so vielen Beobachtungen in gleicher Zeit.

Die Anregung zum Suchen eines Mittels, das ein schnelleres Beobachten ermöglicht, habe ich Herrn Professor O. HECKER zu verdanken, der die Herstellung eines dem meinen ähnlichen Instrumentes besorgend, dasselbe auch in diesem Sinne zu verbessern trachtete. Professor HECKER versah überdies sein Instrument auch mit Vorrichtungen für automatische Einstellung und für photographische Registrierung. Diese letztere Art der Beobachtung bringt nebst ihrem dokumentarischen Wert noch den grossen Vorteil mit sich, dass sie eine stetige Verfolgung des Balkenstandes ermöglicht und so die Zufälligkeiten einer Momentanablesung ausschliesst.

Dass ich mich bisher doch nicht dazu entschliessen konnte, photographische Registrierapparate auch an meinen Instrumenten anzubringen, erklärt sich dadurch, dass ich einerseits mich scheute am Instrumente neue Vorrichtungen anzubringen, welche Quellen neuer Störungen werden könnten, andererseits aber den Vorteil nicht aufgeben wollte, den die Ablesung mit dem Fernrohre dadurch bietet, dass ihre Angaben einen unmittelbaren Aufschluss über die am Beobachtungsorte vorhandenen Schwereverhältnisse geben und es so ermöglichen, sogleich nach Abschluss der Beobachtungen an einer Station die Lage der zunächst folgenden zweckentsprechend zu wählen.

II. Beobachtungen mit der Drehwage, relative Pendelmessungen und Bestimmungen der relativen Lotabweichung, ausgeführt in demselben Gebiete.

Die Ausführung dieser drei Arten der Untersuchung von Schwerestörungen in demselben Gebiete erschien mir darum von grösster Wichtigkeit, weil damit ein Beweis dafür erbracht werden sollte, dass die Drehwage tatsächlich fähig ist räumliche Veränderungen der Schwerkraft d. i. derselben Kraft anzugeben, die dem Lote seine Richtung, dem Pendel seine Bewegung vorschreibt.

Ein älterer derartiger Versuch misslang. In meinem Berichte von 1906 machte ich Erwähnung davon, wie bedeutend der aus meinen Drehwagenbeobachtungen abgeleitete Wert der Differenz der Schwerebeschleunigung zwischen den am Balatonsee gelegenen Stationen Boglár und Fonyód von jenem Werte abweicht, den General v. STERNECK für dieselbe Differenz als Resultat relativer Pendelmessungen angiebt. Ich vermute, dass dieser Misserfolg der Inkonstanz der benützten Pendel zuzuschreiben sei.

Umso grösser ward aber das Bedürfnis nach einer neuen derartigen Vergleichung mit einem hierzu ausreichenden Materiale von Beobachtungen, die mit möglichster Sorgfalt unter einheitlicher Leitung angestellt werden sollten.

Eine derartige vergleichende Untersuchung führten wir in dem von uns eingehend bearbeiteten Arader Gebiete aus und zwar nicht allein die Beschleunigungsdifferenzen betreffend, sondern auch bezüglich der relativen Lotablenkungen.

a) *Vergleichung der aus Drehwagenbeobachtungen abgeleiteten Werte von Δg mit den durch Pendelmessungen bestimmten.*

Um die Beschleunigungsdifferenz Δg zweier Punkte A und B aus Drehwagenbeobachtungen zu berechnen, bedienen wir uns mit Zuhülfenahme der Beobachtungsdaten an einer Reihe zwischen A und B eingefügter Zwischenstationen: 1, 2, 3 . . . n, der folgenden Formel:

$$\Delta g = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial s \partial z} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial s \partial z} \right)_1 \right\} \Delta s + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right)_1 \right\} \Delta z +$$

Die Orte der Beobachtungstationen sind aus beigefügter Karte zu ersehen; jene Stationen, wo auch Pendelmessungen ausgeführt wurden, sind durch ein eigenes Zeichen hervorgehoben.

Die aus unserer Tabelle ersichtliche nahe Übereinstimmung der auf zwei so verschiedenen Wegen gewonnenen Resultate ist eine sehr befriedigende. Die Differenz $(\Delta g)_t - (\Delta g)_p$ erreicht in vier Fällen kaum den Millionstel Teil der ganzen Schwerebeschleunigung, nur in einem Falle (Pankota—Livada) ist sie etwas grösser, aber noch immer kleiner als ein zweihunderttausendstel Teil derselben. Die nahezu um ein Gleiches abweichende Differenz (Pankota—Arad über Kuvin) enthält als Summe diese selbe Differenz (Pankota—Livada) und scheint, wenn wir die volle Übereinstimmung der Differenzen (Pankota—Arad) auf dem anderen Wege, über Kurtics in Betracht ziehen, uns zu zeigen, dass die Drehwagenbeobachtungen zwischen Pankota und Livada nicht dicht genug verteilt waren, um ein besseres Resultat erzielen zu können.

Die Grösse des in der Berechnung von Δg begangenen mittleren Fehlers wächst nämlich mit der Entfernung der benachbarten Drehwagenstationen.

Wird die Strecke s zwischen A und B durch Beobachtungstationen in n gleiche Teile: $\frac{s}{n}$ zerlegt, und nehmen wir an, dass die Bestimmung des Mittelwertes der Grösse $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial s \partial z}\right)$ für eine solche Teilstrecke mit dem mittleren Fehler $\pm v$ behaftet ist, so ist der im Werte vom Δg in jeder einzelnen Teilstrecke begangene mittlere Fehler:

$$\pm \frac{s}{n} v$$

und der resultierende Fehler der Schweredifferenz zwischen den Punkten A und B:

$$\pm \frac{s}{\sqrt{n}} v$$

bei grösseren Stationsinterwallen aber, wo längere Strecken ununtersucht bleiben, ist auch noch die Möglichkeit vorhanden, dass der Fehler v selbst bedeutendere Werte annehme.

Zur Kontrolle der Drehwagenbeobachtungen wurden daher nur solche Stationsreihen herangezogen, bei welchen die Teilstrecken gehörig klein waren, so z. B. zwischen Hidegkút und Kuvin nicht grösser als ein halbes, zwischen Kuvin und Livada nicht grösser als ein Kilometer.

Die Berechnung solcher Beobachtungsreihen, die anderen Zwecken dienend in weit grösseren Streckenteilen fortschreiten, ergibt auch entsprechend grössere Abweichungen der Werte $(\Delta g)_t$ und $(\Delta g)_p$. So berechnete ich bei Zwischenstrecken von fünf bis sechs Kilometern die Differenz: $(\Delta g)_t - (\Delta g)_p$ zwischen Makó und Arad zu $-0,010$, zwischen Szeged und Makó zu $-0,009$, zwischen Szabadka und Szeged zu $-0,002$.

b) *Vergleichung der mit Hilfe von Drehwagenbeobachtungen ermittelten Werte relativer Lotabweichungen mit deren astronomisch-geodetisch bestimmten Werten.*

In meinem Berichte von 1906 habe ich gezeigt, wie in einem mit der Drehwage gehörig durchforschtem Gebiete die relativen Lotabweichungen, sowohl nach Norden, als nach Osten für alle Punkte dieses Gebietes berechnet werden können, sobald bezüglich zweier beliebiger Punkte dieses Gebietes nur eine dieser beiden Komponenten der relativen Lotabweichung durch astronomisch-geodetische Messungen ermittelt wurde.

In Ermangelung gemessener Daten der Lotabweichung, musste ich mich dort auf eine beispielsweise Berechnung beschränken, der ich willkürliche Annahmen bezüglich der meridionalen Lotabweichung zu Grunde legte. Seither ward es mir möglich diesem Mangel abzuhelpfen, indem ich mir durch das Mitwirken des Herrn K. OLTAY zuverlässige Daten der meridionalen Lotabweichungen in mehreren Punkten des Arader Gebiets verschaffte. Diese sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Station	Geografische Koordinaten der Specialkarte $\frac{1}{75000}$ entnommen		Geodetische Breite	Astronomische Breite	Lotabweichung nach Norden $\xi = \varphi$ $\varphi \text{ astr.} - \varphi \text{ geod.}$
	φ	λ	$\varphi \text{ geod.}$	$\varphi \text{ astr.}$	
Pankota	46°21'04	39°21'85	46°21' 7" 100	46°21' 7" 10 ± 0,26	0"0
Világos	46°15'96	39°16'22	46°15'58" 380	46°15'58" 71 ± 0,27	+ 0"3
Kuvin	46°10'00	39°15'00	46°10' 1" 624	46° 9'58" 75 ± 0,22	- 2"9
Paulis	46° 6'40	39°15'41	46° 6'24" 802	46° 6'16" 09 ± 0,28	- 8"7
Zábrány	46° 4'57	39°14'62	46° 4'40" 788	46° 4'32" 85 ± 0,25	- 7"9
Nagyhalom	46°19'08	39° 0'28	46°19' 6" 455	46°19' 4" 91 ± 0,32	- 1"5
Mikalaka	46°10'38	39° 2'29	46°10'27" 866	46°10'25" 40 ± 0,20	- 2"5

Andererseits hatte ich in demselben Gebiete schon ein überaus reiches Material von Drehwagenbeobachtungen an nahezu 200 Stationen gesammelt, aus dem ich nun die nach Norden gerichtete Komponente: X, und die nach Osten gerichtete Komponente: Y der lotablenkenden Kraft für alle Stationen in derselben Weise berechnete, wie ich dies gelegentlich meines ersten Berichtes 1906 tat.

Um Verwechslungen vorzubeugen, habe ich aber den dort mit ξ und η bezeichneten Größen hier das Zeichen X und Y beigelegt, um durch ξ und η in üblicher

Weise die Lotabweichungen nach Norden und nach Osten (astr.-geod.) darstellen zu können. (Siehe Albrecht, Formeln u. Hülftafeln.) Es ist somit:

$$\begin{aligned} X &= -g\xi \\ Y &= -g\eta \end{aligned}$$

Wir erhalten durch diese Rechnung in Einheiten von der Ordnung 10^{-3} C.G.S.:

$$\begin{aligned} \text{für Pankota: } X &= +35,92 + 28,80a \\ \text{„ Világos: } X &= + 8,78 + 15,24a \\ \text{„ Kuvín: } X &= - 1,22 - 0,22a \\ \text{„ Paulis: } X &= +12,09 - 9,31a \\ \text{„ Zábrány: } X &= + 1,90 - 13,70a \\ \text{„ Mikalaka: } X &= - 2,72 + 0,83a \\ \text{„ Nagyhalom: } X &= + 9,22 - 0,89a \end{aligned}$$

Durch Drehwagenbeobachtungen allein kann der Wert von a nicht bestimmt werden; leicht lässt sich aber diese Aufgabe mit Zuhilfenahme der auf astronomisch-geodetischem Wege bestimmten Werte der ξ lösen. Die Benützung sämtlicher uns zu Gebote stehender Werte von ξ und die Ausgleichung ihrer Fehler wäre gewiss das hierzu am besten geeignete Verfahren, doch wollen wir die Rechnung vorerst mit den astronomischen und geodetischen Daten von nur zwei Stationen ausführen um zu beweisen, dass schon diese ausreichend sind.

Wir wählen die Stationen Zábrány und Pankota und bezeichnen die nach Norden gerichteten Komponenten der lotablenkenden Kraft in diesen Stationen mit X_z und X_p .

Aus den Beobachtungen mit der Drehwage folgt dann:

$$X_z - X_p = - 34,02 - 42,50 a$$

Aus astronomisch-geodetischen Messungen erhalten wir andererseits, entsprechend der Oltayschen Tabelle:

$$\xi_z - \xi_p = - 7''9$$

also:

$$X_z - X_p = -g(\xi_z - \xi_p) = + 37,55 \cdot 10^{-3} \text{ C. G. S.}$$

Diese beiden Werte von $(X_z - X_p)$ gleichgesetzt:

$$- 34,02 - 42,50 a = + 37,55$$

also:

$$a = - 1,6840$$

Mit diesem Werte von a wurden nun die relativen Lotabweichungen der Oltayschen Stationen berechnet und mit jenen Werten derselben verglichen, die sich aus den astronomisch-geodetischen Messungen ergeben. Zur Vergleichung dient die folgende Tabelle:

Station	Lotabweichung nach Norden		Differenz: Drehwage— —astr.-geod.
	aus Drehwagen- beobachtungen	astronomisch- geodetisch	
Pankota	0	0	0
Világos	−0"9	−0"3	−0"6
Kuvin	+2"5	+2"9	−0"4
Paulis	+8"5	+8"7	−0"2
Mikalaka	+1"8	+2"5	−0"7
Nagyhalom	+2"3	+1"5	+0"8

Die Übereinstimmung kann uns voll befriedigen, besonders, wenn wir erwägen, dass die mittleren Fehler der astronomisch-geodetischen Bestimmungen für die Lotabweichung den angeführten Wert von $\pm 0''4$ hatten; am zutreffendsten ist sie wieder dort, wo das Beobachtungsnetz das dichteste ist (Kuvin—Paulis), etwas weniger zufriedenstellend dort, wo das Stationsintervall grösser war (Nagyhalom—Mikalaka). Ein von diesem kaum abweichendes Resultat erhalten wir dann, wenn wir mit Zuhilfenahme aller X und aller ξ den Wert von a mittelst Ausgleichung berechnen. Aus einer derartigen Berechnung folgt:

$$a' = -1,7027$$

und wir erhalten folgende, zur Vergleichung dienende Tabelle:

Station	Lotabweichung nach Norden		Differenz: Drehwage— —astr.-geod.
	aus Drehwagen- beobachtungen	astronomisch- geodetisch	
Pankota	0	0	0
Világos	−0"8	−0"3	−0"5
Kuvin	+2"6	+2"9	−0"3
Paulis	+8"6	+8"7	−0"1
Zábrány	+8"1	+7"9	+0"2
Mikalaka	+1"9	+2"5	−0"6
Nagyhalom	+2"3	+1"5	+0"8

Aus der ganzen vergleichenden Untersuchung, wie ich sie hier nach zwei Richtungen ausführte, können wir einige wichtige, unser Vertrauen zur Drehwage, wie auch zum Pendel befestigende Folgerungen ziehen:

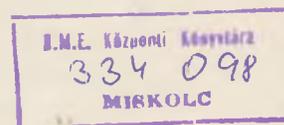
1. Die Drehwage kann tatsächlich zur Messung der Differentialquotienten der Schwerkraft dienen.

2. Beobachtungen mit der Drehwage bekräftigen unsere Hoffnung, Schweredifferenzen durch relative Pendelmessungen mit einer Genauigkeit bestimmen zu können, welche bis ein, höchstens zwei Millionstenteile der ganzen Schwere heranreicht.

3. Es ist möglich, bei genügend klein gewählten Stationsintervallen Schweredifferenzen auch zwischen entfernteren Punkten (20—30 Kilometer) aus Drehwagenbeobachtungen mit gleicher Genauigkeit, wie aus Pendelmessungen abzuleiten.

4. In kleineren (etwa 20—30 Kilometer im Quadrat umfassenden) Gebieten können beide Komponenten der Lotabweichungen für beliebig viele Punkte mit Hilfe der Drehwage ermittelt werden, sobald eine dieser Komponenten für zwei Punkte dieses Gebietes durch astronomisch-geodetische Messungen bestimmt wurde.¹

¹) Während des Druckes dieser Schrift (20. August) erhielt der Verfasser von Herrn K. OLTAY die Nachricht, dass er die ihm anvertraute Aufgabe der Bestimmung der Lotabweichung in Breite aus Azimutbeobachtungen zwischen den im Arader Gebiete gelegenen Stationen Kuvín und Mikalaka beendet habe. Eine vorläufige Berechnung seiner Beobachtungsergebnisse ergibt für die Lotabweichung nach Osten (Kuvín—Mikalaka) den ungefähren Wert von: $-8''$ (Astr.-Geod.), einen Wert, der kaum um mehr als eine Sekunde von jenem abweicht, der sich für dieselbe Grösse aus den vorhandenen Drehwagenbeobachtungen ableiten lässt.



III. Graphische Darstellung der relativen Lotabweichungen im Arader Gebiete.

Der Veröffentlichung der sämtlichen Beobachtungsdaten und Berechnungen vorgehend, füge ich diesem Berichte eine Karte der Lotabweichungen im Arader Gebiete bei, welche hauptsächlich zur Veranschaulichung der Art und Weise dienen soll, wie die Lücken astronomisch-geodetischer Beobachtungen durch Untersuchungen mit der Drehwage ausgefüllt werden können. In diese Karte sind die Stationen der Drehwagenbeobachtungen,¹⁾ der Pendelmessungen und der Polhöhenbestimmungen mit verschiedenen Zeichen eingetragen. Aus Gründen, die ich in meinem Berichte von 1906 erwähnte, wurde die Lotabweichung nach Norden in Kúvin, die Lotabweichung nach Osten aber in Mikalaka gleich Null gesetzt.

Die auf astronomisch-geodetischem Wege bestimmten *meridionalen Komponenten* der Lotabweichungen, sowie die mit Hilfe der Drehwagenbeobachtungen abgeleiteten *ganzen* Lotabweichungen sind durch ihrer Grösse proportionale Pfeile dargestellt, erstere sind mit schwarzer, letztere mit roter Farbe ausgezogen. Die Richtungen der Pfeile entsprechen der Richtung der lotablenkenden Kräfte, so dass z. B. ein nach Norden gerichteter Pfeil einer Lotabweichung nach Norden: ξ (astr.-geod.) mit negativem Vorzeichen entspricht. Die zwei meridionalen Lotabweichungen in Pankota und in Zábrány sind durch stärker ausgezogene schwarze Pfeile hervorgehoben, um es anschaulicher zu machen, wie alles andere, das die Karte zu erkennen gibt, als ein Werk der Drehwage anzusehen ist.

Noch zwei andere Zeichnungen sind hier beigefügt, die eine (Fig. 1) die *Lotabweichungen im Meridian* längs einer Linie darstellend, welche in der Ebene 2 bis 3 Kilometer westlich vom Gebirge verläuft und sich dem Meridiane $39^{\circ} 15'$ östlich v. Ferro anschmiegt und eine andere (Fig. 2), welche die *Lotabweichungen in Breite* längs einem Teile des Breitenkreises von Ménes ($\varphi = 46^{\circ} 8'$) zu erkennen gibt.

In diesen Zeichnungen sind die nach Norden, resp. nach Osten gerichteten Komponenten der lotablenkenden Kräfte als nach oben positive Ordinaten auf eine Abszissenachse aufgetragen, welche zugleich das ebene Erdprofil darstellt.

¹⁾ Zwischen Gyorok und Hidegkút sind die Stationen so dicht, dass an einigen die Pfeile und sechs Stationen aus der Karte ganz weggelassen wurden.

Die Werte der Lotabweichungen sind in Bogensekunden im Sinne astronomisch-geodetisch eingeschrieben, so dass ihrem positiven Werte störende Kräfte entsprechen, die nach Süden resp. nach Westen, ihrem negativen Werte dagegen solche, die nach Norden, resp. nach Osten gerichtet sind.

Nebst der voll ausgezogenen roten Linie, welche den Verlauf der beobachteten Lotablenkungen sichtbar macht, finden wir in jeder dieser Zeichnungen noch je eine zweite gebrochene rote Linie. Diese Linien dienen zur Darstellung jener berechneten Lotabweichungen, welche die sichtbaren Massen allein bewirken. Die mit * bezeichneten Punkte entsprechen den astronomisch bestimmten Lotabweichungen.

Auch über den Verlauf des sich unter die lockeren und wenig dichten Aufschüttungen der Ebene vergrabenden dichteren Gesteinsbodens geben diese Zeichnungen einige Andeutung. Die Beckenprofile sind den beobachteten Schwereänderungen entsprechend gezeichnet, unter Annahme einer Dichte von 2,6 für die Bodengesteine und von 1,8 für die sie bedeckenden Ablagerungen.

Eine besondere Beachtung scheint mir die vollausgezogene rote Linie der Figur 2 zu verdienen. Sie zeigt uns nämlich, dass die lotablenkende Kraft bei Annäherung des Gebirges ihr Maximum schon in der Entfernung von einigen Kilometern vom Fusse desselben erreicht. Bei noch weiterer Annäherung wird die Ablenkung kleiner, scheinbar so, als ob eine von den Bergen ausgehende Abstossung ihre Wirkung fühlbar machen würde. Derartige Eigentümlichkeiten der Lotabweichungen sind nichts neues, der hier beobachtete Fall gewinnt aber dadurch an Interesse, dass was an ihm rätselhaft, durch den Nachweis der abseits vom Gebirge in der Tiefe verborgenen Massen eine auch rechnerisch verfolgbare Erklärung findet.

IV. Betrachtungen über die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Methoden der Schwerebeobachtung in Hinsicht auf die Erforschung der Massenverteilung im Erdinnern.

Nachdem wir den altbewährten Methoden der Schwereuntersuchung eine neue hinzufügten, drängt sich die Frage an uns: welche ihre Vorteile oder Nachteile den älteren gegenüber seien. Eine besondere Veranlassung zur Besprechung dieser Frage gibt mir auch eine sehr beachtenswerte Arbeit des Herrn Professors A. VENTURI,¹ der auf Grundlage kritischer Behandlung meiner Methode auch seine Meinung über die Leistungsfähigkeit derselben ausspricht. Ich hoffe, dass Herr Professor VENTURI, wenn er zur Kenntnis dessen gelangt, was ich hier schon gesagt und noch zu sagen habe, sich überzeugen wird, dass unsere Ansichten nicht weit von einander abstehen.

Die zwei vorangehenden Kapitel dieses Berichtes beschäftigten sich schon mit diesem Gegenstande. Als Ergänzung wollen wir aber jetzt die neuen und die älteren Methoden noch besonders in Hinsicht auf die Aufklärungen beurteilen, die sie über Massenverteilungen zu geben berufen sind, welche dem Auge unsichtbar sich nur durch ihre Anziehung erkennen lassen.

Solche Aufklärungen können nur auf Grundlage „Synthetischer Untersuchungen über den Einfluss gegebener Massen“ erzielt werden, wie sie Herr Geheimrat F. R. HELMERT im zweiten Bande seiner „Theorien der höheren Geodosie“ ausführt.

Im engen Rahmen dieses Berichtes will ich von allen möglichen Fällen der Massenverteilung nur einen einzigen, zum charakteristischen Beispiele geeigneten besprechen. Daran sollen aber auch Betrachtungen von mehr allgemeiner Bedeutung geknüpft werden.

Ich nehme an, dass unter den lockeren und wenig dichten Aufschüttungen einer Ebene (wie das ungarische Tiefland) sich ein dichter Gesteinsboden und ein von diesem gebildeter langer gerader Gebirgszug nebst parallel mit diesem fortlaufenden Tale befinde.

Die Figur 3 stellt das Querprofil dieser angenommenen Massenverteilung dar.

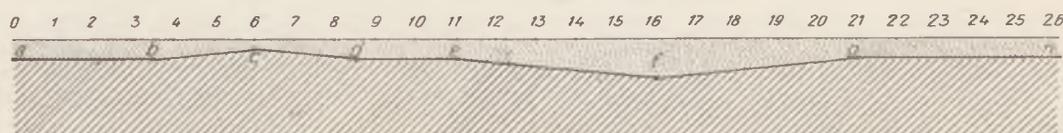
In dieser Zeichnung ist die der ebenen Oberfläche entsprechende Gerade in äquidistante Teile zerlegt, die an den Teilpunkten angeschriebenen Zahlen bezeichnen ihre

¹ A. VENTURI. Teoria della bilancia di Torsione di Eötvös. Palermo, 1908.

vom Punkte 0 in Kilometern gemessenen Entfernungen. Der Verlauf und die Tiefenlage des Profils der dichteren Gesteinsmassen sei der folgende:

von *a* bis *b* in 500 Meter Tiefe, horizontal
 „ *b* „ *c* um 250 „ ansteigend
 „ *c* „ *d* um 250 „ abfallend
 „ *d* „ *e* in 500 „ Tiefe, horizontal
 „ *e* „ *f* um 500 „ abfallend
 „ *f* „ *g* um 500 „ ansteigend
 „ *g* „ *h* in 500 „ Tiefe horizontal.

Die Dichte der den Boden bildenden Gesteine sei 2,6, die der darüber gelagerten Erdmassen 1,8. Unter Annahme des in der Richtung *s* sich bis ins Unendliche erstreckenden Gebirgszuges und Tales, können die auf *s* normalen Schwerstörungen leicht berechnet werden. Die Resultate der Berechnung sind in der beigedruckten Tabelle zusammengestellt.



Figur 3.

<i>n</i> Entfernungen in Kilometern	$\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial z}$ in Einheiten 10^{-9} C. G. S.	Δg in Einheiten 10^{-3} C. G. S.	$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial n^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial s^2}\right)$ in Einheiten 10^{-9} C. G. S.	$\frac{\partial U}{\partial n}$ in Einheiten 10^{-3} C. G. S.	Lotabweichung (astr.—geod.) in Bogensekunden
0	+ 0,2	0	+ 0,9	0	0''0
1	+ 0,5	+ 0,0 ₄	+ 1,7	+ 0,1	0''0
2	+ 1,2	+ 0,1	+ 3,5	+ 0,4	-0''1
3	+ 5,2	+ 0,5	+ 8,0	+ 1,0	-0''2
4	+21,4	+ 1,8	+ 3,0	+ 1,4	-0''3
5	+25,3	+ 4,0	-17,2	+ 0,7	-0''1
6	- 0,5	+ 5,3	-49,7	- 2,7	+0''5
7	-26,3	+ 4,0	-18,6	- 6,1	+1''3
8	-22,7	+ 1,5	- 0,4	- 7,1	+1''5
9	- 7,2	0	+ 2,4	- 6,9	+1''5

n	$\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial z}$	Δg	$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial n^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial s^2}\right)$	$\frac{\partial U}{\partial n}$	Lotabweichung
Entfernungen in Kilometern	in Einheiten 10^{-9} C. G. S.	in Einheiten 10^{-3} C. G. S.	in Einheiten 10^{-9} C. G. S.	in Einheiten 10^{-3} C. G. S.	(astr.—geod.) in Bogensekunden
10	— 5,7	— 0,7	— 6,4	— 7,1	+1''5
11	—16,9	— 1,8	—13,0	— 8,1	+1''7
12	—26,5	— 4,0	— 0,7	— 8,8	+1''8
13	—26,4	— 6,6	+ 9,9	— 8,3	+1''7
14	—23,6	— 9,1	+19,7	— 6,9	+1''5
15	—16,8	—11,1	+30,7	— 4,3	+0''9
16	— 0,1	—12,0	+38,5	— 1,9	+0''4
17	+16,7	—11,1	+30,4	+ 1,6	—0''3
18	+23,4	— 9,1	+19,0	+ 4,0	—0''8
19	+26,2	— 6,6	+ 8,9	+ 5,4	—1''2
20	+26,2	— 4,0	— 2,4	+ 5,8	—1''2
21	+16,2	— 1,9	—15,7	+ 4,9	—1''0
22	+ 4,3	— 0,9	—11,0	+ 3,5	—0''7
23	+ 1,8	— 0,6	— 7,0	+ 2,6	—0''5
24	+ 1,1	— 0,4	— 5,2	+ 2,0	—0''4
25	+ 0,7	— 0,3	— 3,7	+ 1,6	—0''3
26	+ 0,5	— 0,3	— 2,9	+ 1,2	—0''3

Nehmen wir nun an, dass die Genauigkeit des Pendels eine Einheit von der Ordnung 10^{-3} C. G. S., und die Genauigkeit der Drehwaage eine Einheit von der Ordnung 10^{-9} C. G. S. tatsächlich erreicht, so müsste sich laut der Angaben der Tabelle das Vorhandensein und bis zu einem gewissen Grade auch die Verteilung der störenden Massen dem Beobachter mit dem Pendel, sowohl als mit der Drehwaage zu erkennen geben. Allerdings wären hierzu Beobachtungen an mehreren Punkten der ganzen 26 Kilometer langen Strecke erforderlich. Die Drehwaage wäre aber bei dieser Untersuchung in entschiedenem Vorteil, wie es die relativ grossen Werte der Kolumne 2 und 4 zeigen. Dagegen könnten Beobachtungen der Lotabweichungen hier kaum zum Ziele führen.

Ersetzen wir nun den betrachteten Fall der Massenverteilung durch einen anderen, der dem ersten zwar ähnlich, aber von anderen Dimensionen sei, dann treten im Falle der Vergrösserung die Vorteile des Pendels, im Falle der Verringerung aber die Vorteile der Drehwaage deutlich hervor. Ist doch die auf das Pendel ausgeübte Wirkung ähnlich geformter und gelegener Massen gleicher Dichte mit deren linearen Dimensionen propor-

tional, während ihre Wirkung auf die Drehwage von diesen Dimensionen unabhängig bleibt. Die Drehwage verdient also besonders als ein solches Instrument Beachtung, das Andeutungen über Massen geben kann, die zu klein sind, um sie mit dem Pendel entdecken zu können.

Vieles, doch nicht Alles können wir von ihrer Empfindlichkeit erwarten. So glaube ich kaum, dass diese je weit genug gesteigert werden könnte, um so geringe Verschiebungen von Massen anzeigen zu können, wie sie den tektonischen Erdbeben vorangehen mögen, und so die Hoffnung derer zu erfüllen, die in dem Instrumente einen Voranzeiger solcher Katastrophen zu erkennen wähten. Vulkanische Erscheinungen mit grösseren Massenumlagerungen könnten dagegen mit mehr Aussicht auf Erfolg der Beobachtung mit der Drehwage unterworfen werden.

Nebst ihrer grossen Empfindlichkeit, die sie zur Entdeckung auch kleinerer störender Massen befähigt, sehe ich einen grossen Vorzug der Drehwage darin, dass sie beim Aufsuchen von Unregelmässigkeiten der Massenverteilung ähnlich einer Magnetnadel, als Wegweiser dient, indem sie schon nach wenigen Beobachtungen die Richtung anzeigt, in der die entdeckten Spuren weiter zu verfolgen seien. Sie ist vor allem ein Instrument, geschaffen zur Entdeckung und Verfolgung von Faltungen, Klüften, Verschiebungen und Verwerfungen, kurz jener Unregelmässigkeiten der Erdkruste, welche als Begrenzungen einzelner Schollen, oder als tektonische Linien das Interesse des Geologen erregen.

So bedeutend aber auch einst die Verdienste der Drehwage in der Erforschung solcher gestörter Grenzlinien werden möge, wird dieses Instrument bezüglich der Ermittlung der Grösse der störenden Massen das Pendel nie ganz ersetzen können. Hierzu ist ja die Kenntnis von Δg erforderlich und wenn es auch möglich ist, wie ich vorher gezeigt habe, diese Grösse innerhalb Entfernungen von einigen zehn Kilometern auch mit Hilfe einer Reihe von Drehwagenbeobachtungen ebenso genau, wie mit dem Pendel zu bestimmen, so setzen wir uns doch bei einem solchen Verfahren der Möglichkeit grosser Irrtümer aus, zumal wenn wir uns mit wenigen zu weit von einander gelegenen Beobachtungsstationen begnügen. Wollten wir zum Beispiel die Differenz der Schwerebeschleunigung zwischen den Stationen 0 und 26 unserer Figur aus den Drehwagenbeobachtungen an nur fünf Punkten: 0, 7, 14, 21, 26 ableiten, so würden wir für diesen statt des richtigen Wertes von $-0,3$, den ganz falschen Wert $-25,0$ erhalten.

Dieses Beispiel zeigt uns auch recht deutlich, wie sich beide Arten der Beobachtung, dasselbe Ziel anstrebend, ergänzen können und sollen. Wenn ein Beobachter seine Pendel nur in der Nähe der Punkte 0 und 26 aufstellte, würde er gar nicht zur Kenntnis des dazwischen gelegenen Massenzuges gelangen, ein Beobachter dagegen, der mit seiner Drehwage diesen wohl entdeckt, aber mit den Angaben des Pendels in Widerspruch gerät, wird trachten müssen, seine Beobachtungen durch Einfügung neuerer Zwischenstationen zu vervollständigen.

Eine Dienstleistung von grosser Wichtigkeit scheint mir der Drehwage auch noch in der Lösung von Fragen über Isostasie vorbehalten zu sein.

Massenanhäufungen, wie sie uns in den grossen Gebirgszügen der Erde (Alpen,

Kaukasus, Anden, Himalaya) vor Auge treten, üben noch in bedeutend grossen, einige Hundert Kilometer betragenden Entfernungen merkliche Einflüsse auf die Drehwaage. So ist zum Beispiel für einen langen Gebirgszug von etwa 1500 Meter mittleren Erhebung, und von 200 Kilometer Breite, unter Annahme einer Dichte von 2,6 seiner Gesteinsmassen, der Wert von $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial n^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial s^2}\right)$ in einer Entfernung von 100 Kilometern vom Gebirgsrande $3,5 \cdot 10^{-9}$, in einer Entfernung von 200 Kilometern $1,3 \cdot 10^{-9}$ und in einer Entfernung von 300 Kilometern noch immer $0,7 \cdot 10^{-9}$ *)

Im Falle isostatischer Lagerung des Gebirges müsste von diesen Werten ein umso grösserer Betrag in Abzug kommen, je vollständiger diese Isostasie ist. Die Mittelwerte einer grösseren Anzahl von Werten der Grössen $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ und $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$ beobachtet in gleichmässig verteilten Stationen in Entfernungen von 100 bis 200 Kilometern von Gebirgen oder Hochebenen könnten somit wertvolle Aufklärungen über Fragen der Isostasie geben.

Erwähnen will ich, dass unsere Beobachtungen vom Jahre 1908 an 55, vom Gebirge 30—150 Kilometer entfernten Stationen die folgenden Mittelwerte ergaben:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}\right)_m &= +7,5 \cdot 10^{-9} \text{ statt des Normalwertes } +8,1 \cdot 10^{-9} \\ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}\right)_m &= +1,6 \cdot 10^{-9} \quad \text{„ „ „} \quad 0 \\ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)_m &= +6,5 \cdot 10^{-9} \quad \text{„ „ „} \quad +4,9 \cdot 10^{-9} \\ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}\right)_m &= -1,0 \cdot 10^{-9} \quad \text{„ „ „} \quad 0 \end{aligned}$$

In dem von uns durchforschten ebenen Gebiete erreicht die Wirkung der umgebenen Gebirge, insbesondere die, der das Siebenbürger Becken ausfüllenden Massen bezüglich der Grösse $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ einen durchschnittlichen Wert, welcher einer positiven

* Die Berechnung geschah mit Hilfe der für ein unendlich langes, gerades, horizontal liegendes Band gültigen Formel:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial n^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial s^2} = 2H \sigma G \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'}\right)$$

wo H die Höhe des Bandes, r und r' die Entfernungen von beiden Plattenrändern, G die Graviationskonstante und σ die Dichte bedeutet.

Einheit von der Ordnung 10^{-9} C. G. S. nahe liegt. Die hier angegebenen Mittelwerte können aber zur Untersuchung der Isostasie doch nicht gut herangezogen werden, da die Beobachtungen in Verfolgung der einmal erkannten lokalen Störungen angestellt wurden und somit von diesen einseitig beeinflusst sind.

Von allergrösstem Interesse wäre es aber, eine derartige Untersuchung nördlich und südlich der Alpen, an beiden Seiten des Kaukasus und noch mehr in den Pampas von Argentinien auszuführen, wo sich Aufklärungen über die Isostasie eines ganzen Kontinentes ergeben könnten.

V. Messungen erdmagnetischer Störungen, ausgeführt im Anschlusse an Drehwagenbeobachtungen.

In meinem Berichte von 1906 habe ich darauf hingewiesen, dass die Komponenten der von einer magnetischen Gesteinsmasse ausgeübten magnetischen Kräfte in engem Zusammenhange stehen mit eben jenen Äusserungen ihrer Massenanziehung, welche durch die Drehwage bestimmt werden können.

Im Falle einer magnetisch homogenen Gesteinsmasse ist nämlich:

$$X = \frac{\alpha}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\beta}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} + \frac{\gamma}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z}$$

$$Y = \frac{\alpha}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} + \frac{\beta}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\gamma}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z}$$

$$Z = \frac{\alpha}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} + \frac{\beta}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} + \frac{\gamma}{\sigma G} \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$$

wo X, Y, Z die rechtwinkligen Komponenten der von der Gesteinsmasse ausgeübten magnetischen Kraft, α , β , γ die Komponenten ihrer Magnetisierung, V das Potientiel ihrer Massenanziehung, σ ihre Dichte und G die Gravitationskonstante bedeutet. Diese Gleichungen eröffnen ein weites Feld gemeinschaftlicher Arbeit für die Drehwage einerseits, für die Magnethadel andererseits, in dem sie berufen sind Aufklärungen über manche Geheimnisse unsichtbarer Massenverteilung zu geben.

Vor allem ersehen wir aus ihnen, warum derartige Bestrebungen, magnetische Anomalien durch Wirkungen magnetischer Gesteinsmassen zu erklären, bisher nur in so wenigen Fällen zu einem mehr-minder befriedigendem Resultate führen konnten. So wie wir nämlich aus Drehwagenbeobachtungen bei zu grossen Stationsabständen keine zuversichtlichen Aufklärungen über die Schwerestörung selbst und über die diese Störung bewirkenden Massen erhalten, so können wir unter gleichen Umständen auch von den magnetischen Messungen nichts Besseres erwarten. Diese letztere Art der Beobachtung

bedingt so wie die erstere, ein genügend dichtes Stationsnetz, welches den stetigen Verlauf der Schwereänderungen oder der magnetischen Störungen annäherungsweise zu erkennen gestattet. Einzelbeobachtungen in Entfernungen von mehreren zehn Kilometern, wie sie bei magnetischen Aufnahmen bis heute meistens üblich waren, sind hierzu gewiss nicht ausreichend. Ein gehörig dichtes Beobachtungsnetz wird hier zur wesentlichen Bedingung des Erfolges.

Seit dem Jahre 1902 haben wir es nie versäumt, dort wo wir Beobachtungen mit der Drehwage anstellten, auch alle drei rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen. Das so gewonnene, in manchen Gebieten schon gehörig dichte Netz wurde dort, wo es wünschenswert erschien, durch Dazwischenfügen noch enger aneinander gelegener Stationen vervollständigt. An solchen Zwischenstationen bestimmten wir die Horizontalintensität allein, oder diese und auch die Deklination mit Hilfe von Methoden, welche deren schnelle Beobachtung ermöglichen. Zur Bestimmung der Horizontalintensität diente ein den Reiseverhältnissen angepasstes KOHLRAUSCH-sches Lokalvariometer, zur Bestimmung der Deklinationsdifferenzen zwei eigens zu diesem Zwecke hergestellte Instrumente.

Das durch den ausdauernden Fleiss meiner Mitarbeiter des Herrn Dr. D. PEKÁR, Dr. L. STEINER und E. FEKETE allmählich heranwachsende Beobachtungsmaterial enthält derzeit: absolute Messungen der drei Komponenten der erdmagnetischen Kraft an 460 Stationen, relative Bestimmungen der Horizontalintensität mit dem KOHLRAUSCH-schen Instrumente an 1828 Stationen, und der Deklination an 651 Stationen. Dieses reiche Material, dessen Aufarbeitung keine geringe Mühe verursachte, und den Gegenstand einer besonderen Publikation bilden soll, gab uns manchen Aufschluss über die gegenseitigen Beziehungen der Störungen von Schwere und Erdmagnetismus. Neuerdings bestätigt sich durch dasselbe der im allgemeinen parallele Verlauf beider Störungsarten, wie einen solchen verdienstvolle Forscher in Japan, im Ural, im Harze, in der Umgebung von Moskau und in anderen Gebieten schon nachgewiesen haben.

Diese Beziehung tritt aber bei unserer Beobachtungsart besonders deutlich hervor, da die sich an Stellen langgestreckter Störungsgebiete durch horizontale magnetische Störungskräfte kundgibt, die mit den beobachteten Gradienten der Schwerestörung nahezu parallel sind, und so auch von einem parallelen Verlaufe der magnetischen Kammlinien mit den Isogammen der Schwerestörung Zeugnis ablegen.

Wichtig erscheint mir dabei die aus der grossen Zahl unserer Beobachtungen sich ergebende Möglichkeit und Notwendigkeit, drei verschiedene Typen dieses Parallelismus zu unterscheiden, die ich kurz so charakterisieren will:

Erster Typus: die horizontalen magnetischen Störungskräfte sind mit den Gradienten der Schwerestörung parallel und gleichgerichtet.

Zweiter Typus: die horizontalen magnetischen Störungskräfte sind mit den Gradienten der Schwerestörung parallel, aber entgegengesetzt gerichtet.

Dritter Typus: die horizontalen magnetischen Störungskräfte sind mit den Gradienten der Schwerestörung parallel, dabei aber von der Richtung dieser letzteren unabhängig und von beiden Seiten einer magnetischen Kammlinie dieser zu gerichtet.

Diese drei Typen sind in den Figuren 4, 5 und 6 versinnlicht, wo die horizontalen, magnetischen Störungskräfte durch rote, die Gradienten der Schwerestörung dagegen durch schwarze Pfeile dargestellt wurden.

Karakteristische Beispiele dieser Typen fand ich zwischen Makó und Szeged für den ersten (Fig. 4.), in der Umgebung von Arad für den zweiten (Fig. 5.) und nördlich der Fruska-Gora für den dritten Typus (Fig. 6.).

Wollen wir die magnetischen Störungen durch Wirkungen magnetischer Gesteine erklären, so müssen wir annehmen, dass bei der Störung vom ersten Typus die magne-

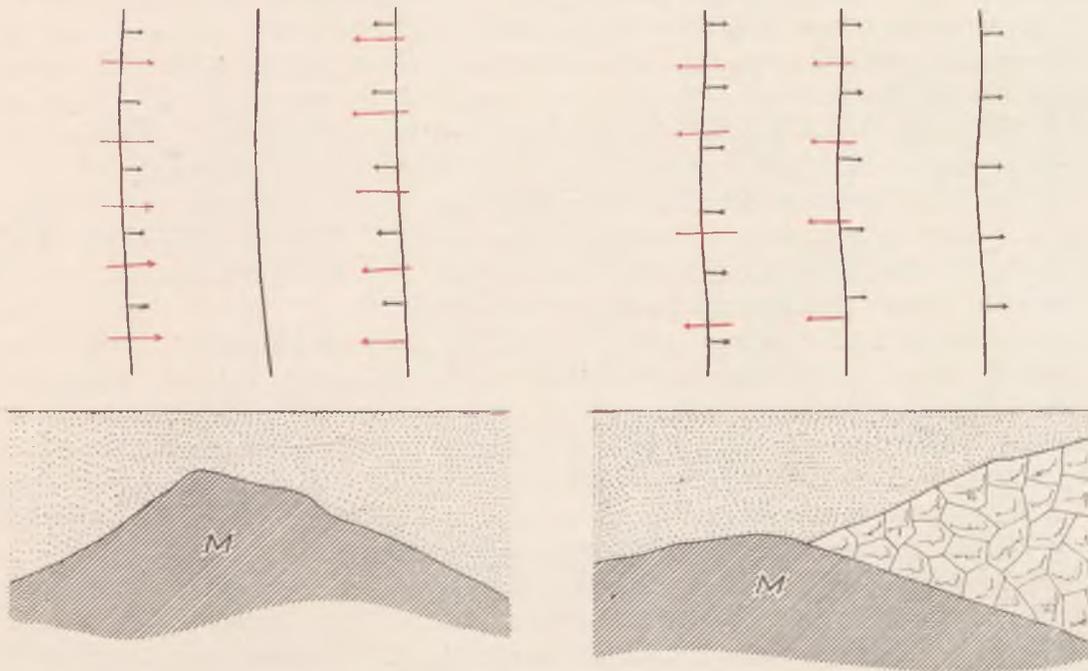


Fig. 4.

Fig. 5.

tischen Gesteine es selbst sind, welche die Schwerestörungen bewirken, dass aber diese magnetischen Massen bei der Störung vom zweiten Typus von nicht magnetischen überlagert werden, während sie bei der Störung vom dritten Typus zwischen nicht magnetische Massen von nahezu gleicher Dichte eingeklemt sind. Diese drei Lagerungsarten sind in den drei Profilen dargestellt, welche in den Figuren 4, 5, 6 unter den Diagrammen der ihnen entsprechenden Störungstypen sichtbar sind (M: magnetische Massen).

Welcher Art die auf diesem Forschungswege zu erzielenden Resultate seien, will ich hier noch an zwei zum Beispiele besonders geeigneten Fällen erläutern.

Unsere Drehwagenbeobachtungen vom Jahre 1908 führten uns in der Mitte der

ungarischen Tiefebene zur Entdeckung eines zwischen Makó und Szeged sich von SSO nach NNW hinziehenden verborgenen Massenzuges, den wir dann auch in einer Länge von 50 Kilometern verfolgten und nächstens noch weiter zu verfolgen gedenken. Die Gradienten der Schwerestörung sind da von beiden Seiten einer nahezu geraden Kammlinie nach dieser gerichtet und erreichen in Entfernungen von etwa 10 Kilometern von ihr Werte die zwanzig Einheiten der zu ihrer Messung gebrauchten Grösse (10^{-9} C. G. S.) übersteigen. Die magnetischen Störungskräfte sind dort den Gradienten nicht nur parallel, aber ihnen auch gleich gerichtet (Typus I), so dass die Deklination östlich von der Kammlinie grösser ist, als westlich davon. Durch eine Art der Berechnung auf die ich schon in meinem Berichte von 1906 hingewiesen habe, konnte nun in diesem Falle die Grösse und die Richtung der Magnetisierung der störenden Massen ermittelt werden, wobei sich ergab, dass diese dem durch die erdmagnetische Kraft induzierten Magnetismus einer Gesteinsmasse entspricht, deren Magnetisierungskoeffizient (Suszeptibilität) gleich 0,0035 ist.

Dieser Wert ist von einer Grösse, wie er hauptsächlich nur eruptiven Gesteinen zukommt. Mit der Wahrscheinlichkeit, die den einfachen Erklärungen eigen ist, können wir also hier auf das Vorhandensein eines, bisher vom Geologen nichtgeahnten Massenzuges eruptiven Charakters folgern.

Als ein weiteres Beispiel erfolgreichen Zusammenwirkens magnetischer und Schwerkraftsbeobachtungen mögen unsere Untersuchungen in dem Gebiete der Fruska-Gora dienen.

Die Fruska-Gora ist ein zwischen Donau und Save sich in einer Gesamtlänge von etwa 80 Kilometern von Osten nach Westen erstreckendes Inselgebirge, das in seinem höheren, nahezu 50 Kilometer langen Teile die Kammhöhe von mehr als 500 Metern über dem Meere, von 400 Metern über die sie umgebende Ebene erreicht.

Den Kern des Gebirges bildet eine sattelförmige Falte krystallinischer Schiefer an die sich beiderseits neuere Gebilde anlehnen, die sich dann in die alluvialen Aufschüttungen der Ebene versenken.

Zwischen die Schichten des krystallinischen Schiefers sind Lager von Diorit, Amphibolit und Serpentin, stellenweise auch Glaukophan eingekeilt, die nächst dem Kamme des waldbedeckten Gebirges aus den reichen Humusschichten hie und da zu Tage treten.

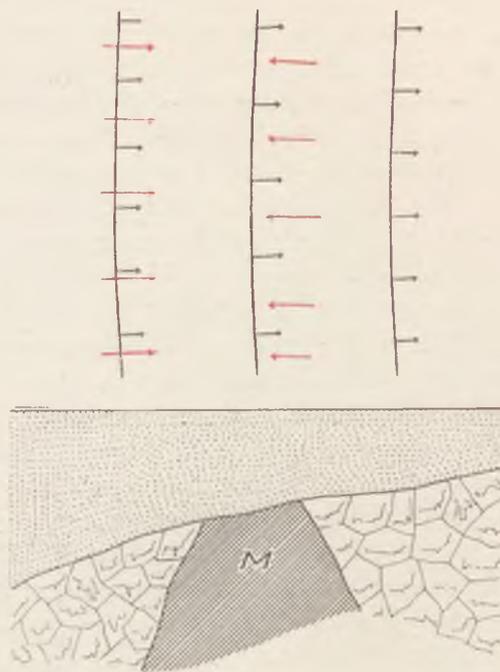


Fig. 6.

Aufmerksam gemacht durch die magnetischen Störungen, die von KREIL und von SCHENZL im Rahmen ihrer Landesaufnahmen an zwei Punkten in der Nähe dieses Gebirges (Ujvidék und Karlócza) entdeckt wurden, wählte ich die umliegende Ebene zum ersten Felde meiner derartigen Untersuchungen, auch aus dem Grunde, weil der einfache, inselartige Aufbau des Gebirges die Möglichkeit eines leichteren Überblicks seiner Massenverteilung in Aussicht stellte.

Die Arbeit dreier Jahre, von 1902 bis 1904 verwendeten wir zur Erforschung dieses Gebietes, an 109 Stationen Drehwagenbeobachtungen, an mehr als 1300 Stationen magnetische Beobachtungen ausführend. Gewissermassen waren es unsere Lehrjahre, in denen wir unsere Beobachtungsmethoden ausprobierten und sie zu verbessern lernten. Im ersten Jahre hatten wir zum Beispiel nur eine einfache Drehwage, die an jeder Station fünf Einstellungen erforderte und wegen ihrer zeitraubenden Behandlung nur ein langsames Vorwärtsschreiten ermöglichte. Das während dieser drei Jahre gewonnene Beobachtungsmaterial bedarf eben deshalb noch einiger Ergänzungen, so namentlich auch durch Pendelbeobachtungen und Bestimmungen der Lotablenkung.

Die Hoffnung, die unsere Schritte in dieses Gebiet lenkte, täuschte uns in keiner Hinsicht. Wir fanden dort ein sich längs und um das ganze Gebirge weit erstreckendes magnetisches Störungsfeld von seltener Regelmässigkeit. Auch die Beobachtungen mit der Drehwage ermöglichten eine klare Einsicht in die vorhandene Massenverteilung, indem sie Gradienten der Schwerestörung zu erkennen gaben, welche innerhalb 10 Kilometer betragenden Entfernungen vom sichtbaren Fusse des Gebirges von Süden wie von Norden nach dessen Kamme hin gerichtet sind.

Schwerestörungen und magnetische Störungen sind aber hier wohl parallel, doch ihrer Grösse und Richtung nach von einander unabhängig, entsprechend dem in der Fig. 6. dargestellten III-ten Störungstypus.

Das ganze magnetische Störungsfeld beherrscht hier eine im Norden des Gebirges diesem parallel verlaufende magnetische Kammlinie, welche vom Fusse des Gebirges um ungefähr fünf Kilometer abstehend, sich ihm in seiner ganzen ostwestlichen Erstreckung anschmiegt. Diese Kammlinie gibt sich in zweifacher Weise zu erkennen: erstens durch die längs ihr nachweisbaren maximalen Werte der Vertikalkomponente, zweitens dadurch, dass nördlich von ihr Minimalwerte, südlich von ihr aber Maximalwerte der Horizontalkomponente der erdmagnetischen Kraft aufzufinden sind. Maxima und Minima stehen ungefähr um fünf Kilometer von einander ab und erreichen Wertdifferenzen gleich dem fünfzehnten Teile der ganzen Horizontalintensität. Neben dieser, die ganze Störung beherrschenden Hauptkammlinie finden wir, hauptsächlich im Gebirge selbst noch andere dieser parallel verlaufende ähnliche Linien wohl von geringerer Erstreckung, aber einige unter diesen, die noch um vieles grössere Unterschiede zwischen den nördlichen Minimalwerten und den südlichen Maximalwerten aufweisen.

Dieser deutlich ausgeprägte Charakter einer ostwestlichen Erstreckung ermöglichte eine planmässige Erforschung des ganzen Gebietes mit Hilfe von Beobachtungen, die längs der das Gebirge durchquerenden meridionalen Linien ausgeführt wurden. Wir konnten

Vertikalschnitte durch die Fruska-Gora längs der Meridiane von Futak (37°23' östl. von Ferro) und von Banostor (37°16' östl. von Ferro).

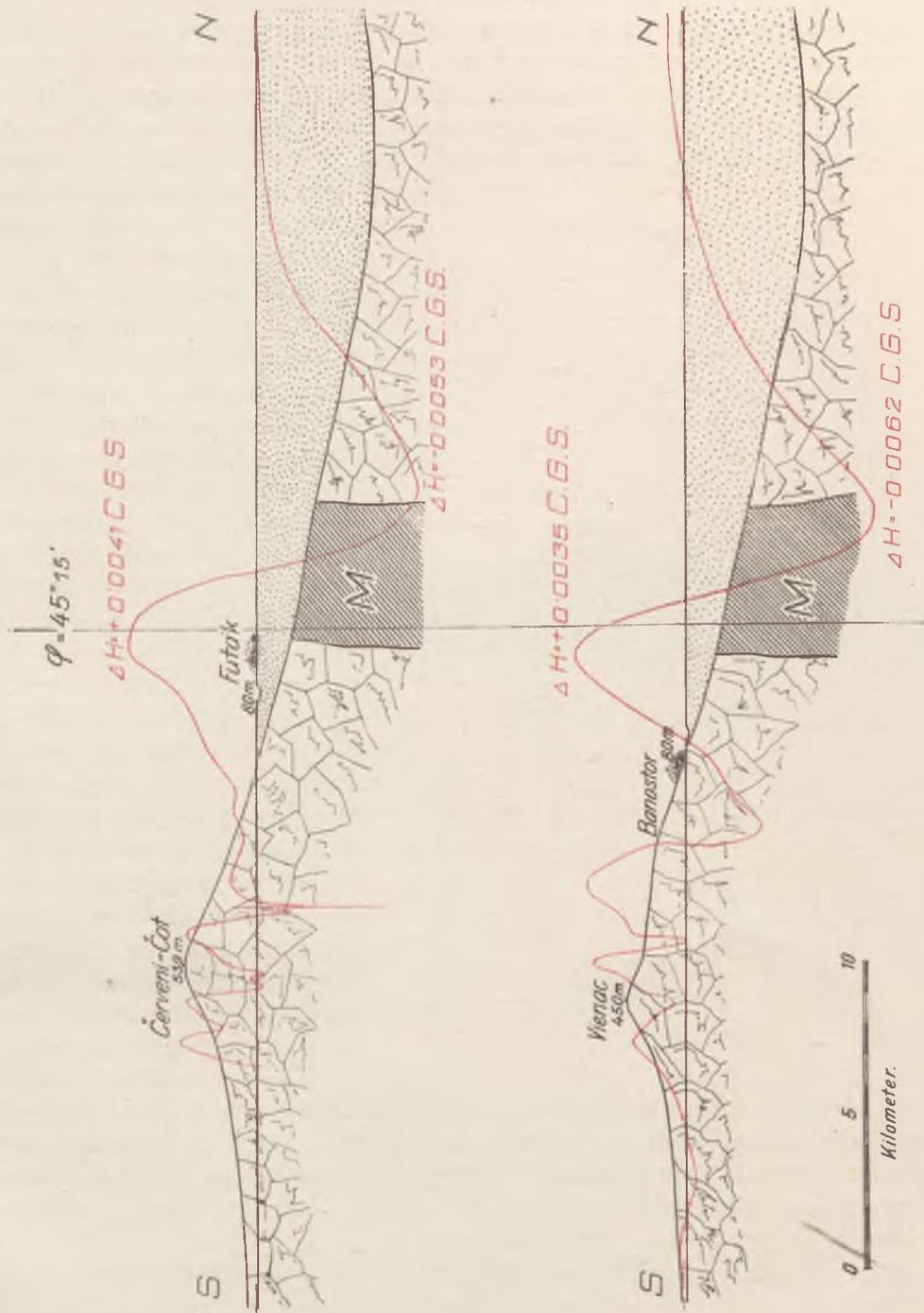
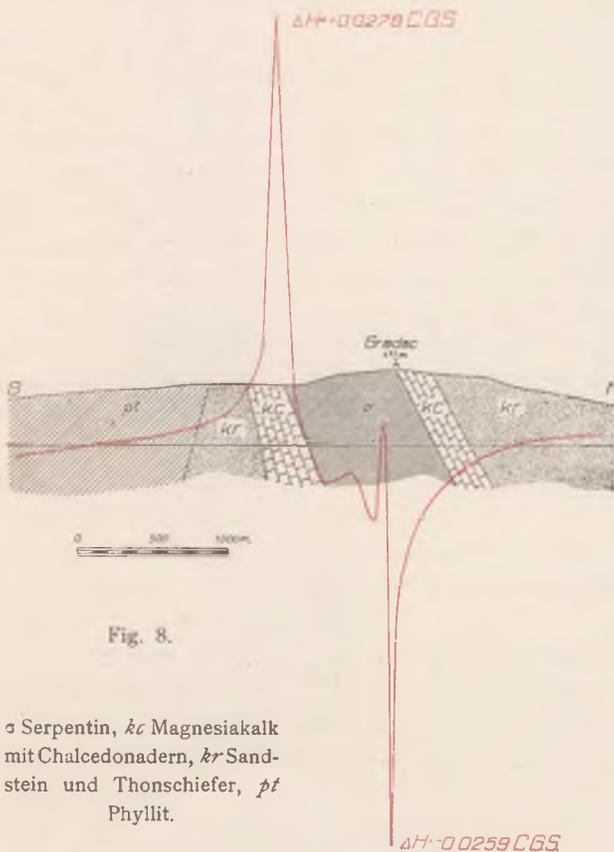


FIG. 7.

also das gegenseitige Verhältniss von Schwere und Magnetismus in einer Reihe meridionaler Querschnitte untersuchen und auch in solchen Querschnitten zeichnerisch darstellen. Zwei von diesen Querschnittszeichnungen sind hier beigegeben, eine dem Meridiane von Futak ($37^{\circ}23'$ östl. v. Ferro), eine andere dem Meridiane von Banostor ($37^{\circ}16'$ östl. v. Ferro) entsprechend (Fig. 7.). Diese Zeichnungen veranschaulichen das Profil des Gebirges, sowohl in seinem sichtbaren, als in seinem unter den Alluvialboden versenkten



Teile, letzteren entsprechend gleichen Annahmen, wie wir sie schon der Zeichnung unserer Profile Fig. 1. und Fig. 2. zugrunde legten. Die magnetischen Störungen sind hier durch die rot ausgezogenen Linien dargestellt, so dass deren auf den Querschnitt der Ebene als Abscissenachse aufgetragene Ordinaten proportional der Horizontalkomponente der Störungskraft seien und nach oben gerichtet eine nördliche, nach unten gerichtet eine südliche Richtung dieser letzteren anzeigen. Die in unseren Figuren eingeschriebenen Werte der Störungen sind in Einheiten des C. G. S.-Systems gemessen. Meridianprofile durch mehr östlich und mehr westlich gelegene Teile des ganzen Gebirgszuges hergestellt, zeigen die gleichen Eigentümlichkeiten mit den beiden hier wiedergegebenen. Auf Störungen im Gebirge selbst folgt bei allen die im Norden desselben in der Ebene gelegene Hauptstörung in ihrem regelmässigen Verlaufe ein Maximum und um etwa fünf Kilometer weiter nach Norden ein Minimum erreichend.

Zur Erklärung dieser Hauptstörung dachte ich anfangs das Vorhandensein magnetischer Eisenerze annehmen zu müssen, die trotz ihrer relativ geringen, auf die Drehwage kaum wirkende Masse, vermöge der grossen Intensität ihrer Magnetisierung doch die beobachteten bedeutenden Störungen hervorbringen könnten. Diese Ansicht sprach ich sogar in meinem Berichte von 1906 aus.

Bei Gelegenheit der seither in Angriff genommenen Ausarbeitung einer magnetischen Karte der Fruska-Gora ward aber meine Aufmerksamkeit auf eine sehr bedeutende Neben-

störung in der Nähe des Gebirgskammes gelenkt, welche durch ihre Ähnlichkeit mit der Hauptstörung den Weg zu einer viel ungezwungeneren und wahrscheinlicheren Erklärung eröffnet.

Diese Nebenstörung ist durch die Figur 8. ebenfalls in einem meridionalen Querschnitte dargestellt. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum der horizontalen Störungskomponente erreicht hier einen Wert, der grösser ist, als der vierte Teil der ganzen Horizontalkraft. Unser Interesse erregt aber an diesem Orte nicht allein die auffallende Grösse der Störung, sondern noch vielmehr der Umstand, dass ihre handgreifliche Ursache klar vor unseren Augen liegt in Gestalt eines etwa 800 Meter mächtigen Serpentinlagers, welches zwischen die umgebenden Schiefer eingezwängt, sich von der Oberfläche in steilem Hange in die Tiefe ver-

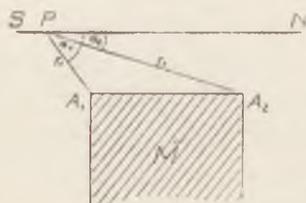


Fig. 9.

senkt. Dort, wo die Begrenzungsflächen des Serpentinlagers den sanft gekrümmten Gebirgssattel durchschneiden, befindet sich im Süden das Maximum, im Norden das Minimum der magnetischen Horizontalkraft. Stücke des vorgefundenen Serpentin wurden auf ihre magnetische Suszeptibilität untersucht, wobei sich an verschiedenen Probestücken Werte von 0.005 bis 0.010 ergaben.¹⁾

Es mag kühn erscheinen, so grosse Störungen durch den induzierten Magnetismus so wenig magnetischer Gesteine erklären zu wollen, doch können wir uns durch eine leicht ausführbare Rechnung von der Zulässigkeit einer solchen Anschauung überzeugen.

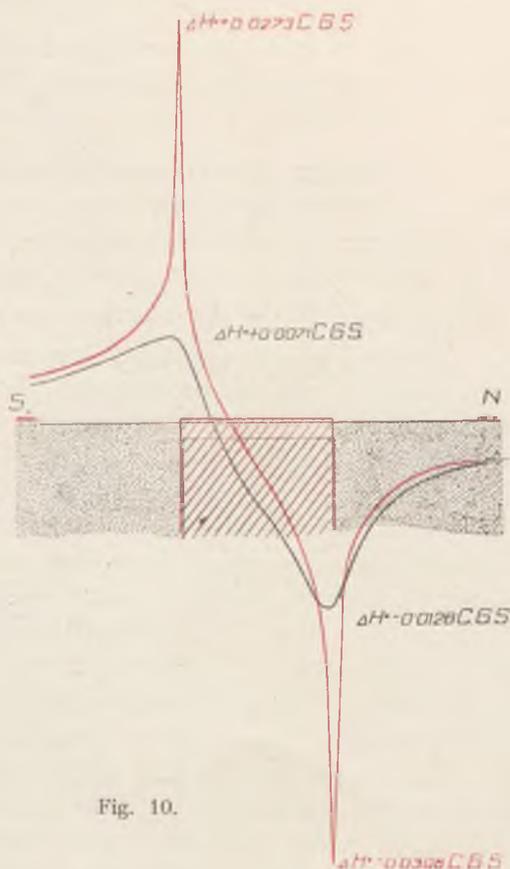


Fig. 10.

¹⁾ Eine eingehendere, besonders magnetische Untersuchung des Gesteins soll noch vorgenommen werden, bei der Bekanntmachung ihrer Resultate hoffe ich Gelegenheit zu finden, auch über die eigenen Methoden zu berichten, die ich zu solchem Zwecke zu benützen pflege.

Nehmen wir an, dass wir uns über einer magnetischen Gesteinsplatte befinden, welche sich mit ihren vertikalen Wänden aus unendlicher Tiefe erhebt, oben durch eine horizontale Ebene begrenzt ist und sich in der auf den magnetischen Meridian normalen Richtung in unendliche Entfernungen erstreckt. Die magnetische Suszeptibilität des Gesteins sei 0,005, die Horizontalkomponente der induzierenden erdmagnetischen Kraft $H = 0,21$ C. G. S. und ihre Vertikalkomponente $V = 0,42$ C. G. S.

Auf Grundlage der Figur 9. lässt sich dann die Horizontalkomponente der magnetischen Störung berechnen aus der Formel:

$$\Delta H = 2\kappa \left\{ V \log \frac{r_2}{r_1} + H(\alpha_2 - \alpha_1) \right\}$$

Die Resultate der Rechnung sind in der Figur 10. zur Anschauung gebracht und zwar für zwei verschiedene Höhen über dem horizontalen Plattenende. Mit *roter* Farbe ist die Störungskurve gezeichnet, längs einer auf die Platte normalen Horizontallinie, die um nicht mehr als $\frac{1}{300}$ der Plattendicke A_1A_2 über dem Plattenende verläuft,¹⁾ mit *schwarzer* Farbe dagegen die Störungskurve in einer Höhe von $\frac{1}{10}$ der Plattendicke.

Vergleichen wir nun diese, die Resultate der Rechnung darstellenden Diagramme mit denen, die wir den beobachteten Störungen entsprechend zeichneten, so muss uns die Ähnlichkeit ins Auge fallen, welche einerseits zwischen der berechneten roten Kurve und der die Nebenstörung darstellenden Linie, andererseits zwischen der berechneten schwarzen Kurve und der die Hauptstörung darstellenden Linie besteht.

Da wir nun wissen, dass es tatsächliche magnetische Gesteine sind, welche die Nebenstörung verursachen, so müssen wir auch die Möglichkeit zugeben, dass es ebensolche Gesteine sein können, welche aus grösserer Tiefe die Hauptstörung bewirken und zwar in einer auch den Schwerebeobachtungen entsprechenden Lage, d. i. eingekeilt zwischen Gesteinen von nahezu gleicher Dichte. Ein näheres Studium der beobachteten Störungskurve wird möglicherweise auch Aufklärungen über Tiefe, Neigung und Abgrenzung der magnetisch wirkenden Gesteine geben.

Ich glaube die Hoffnung aussprechen zu dürfen, dass Untersuchungen der eben besprochenen Art, an mehreren und auch ausgedehnteren Gebieten ausgeführt, der Geologie in Zukunft bedeutende Dienste leisten werden.

Gebiete von besonderem Interesse für Untersuchungen dieser Art scheinen mir zu sein: die Umgebung von Moskau wegen ihrer merkwürdigen Lotabweichungen und magnetischen Störungen, das durch die ausserordentliche Grösse dieser letzteren auffallende Gebiet im Gouvernement Kursk, und das Pariser Becken, dessen sich weit erstreckende magne-

¹⁾ Entsprechend einer Höhe des Instrumentes von 1 Meter im Falle einer 800 Meter dicken zutage-tretenden vertikalen Platte.

tische Störung durch Herrn MOURAUX in ihrer Einfachheit erkannt und dargestellt wurde. Ich hätte aber auch hier vor allem Argentinien erwähnen sollen, da dort magnetische Störungen der Untersuchung warten, welche mit Recht kontinentale genannt werden dürften, indem sie sich schon in den rohest gezeichneten magnetischen Karten zu erkennen geben.

Zum Schlusse dieser Auseinandersetzungen will ich mich aber noch ausdrücklich gegen die Zumutung verwahren, als hätte ich dadurch, dass ich die magnetischen Störungen einiger Gebiete durch die Wirkung magnetischer Gesteine zu erklären suchte, diese schon heute als die einzig mögliche Ursache derartiger Störungen hingestellt. Ein entscheidendes Urtheil in dieser Frage wird so lange nicht gefällt werden können, bis sich unsere Kenntnisse über Erdströme und deren mögliche Ablenkungen nicht in mannigfacher Weise vervollständigt haben.

VI. Untersuchungen über die Frage, ob ein einziges System von Niveaulflächen ausreichend sei zur Darstellung der Schwere aller verschieden gearteten Körper.

Zum Schlusse will ich noch von einer Arbeit Erwähnung tun, welche zwar theoretischer Natur, doch in den Rahmen dieses Berichtes gehört, da sie sich mit einem der Grundprinzipien der Erdmessung, nämlich mit der Frage beschäftigt, ob zur Darstellung der Schwerkraft für alle Körper verschiedener Substanz ein einziges System von Niveaulflächen ausreiche, somit auch die Geoidfläche eindeutig definiert werden könne.

Es ist dies eine Arbeit, welche der Berichterstatter gemeinschaftlich mit den Herren Dr. D. PEKÁR und E. FEKETE bezüglich der Prüfung des Newtonschen Gesetzes der Proportionalität von Trägheit und Gravität ausführte.¹⁾

Die Untersuchung stützt sich auf Betrachtungen, die der Berichterstatter in einer kurzen Notiz im Jahre 1890 veröffentlichte (Math. u. Naturw. Berichte aus Ungarn, VIII. 1890; Beiblätter 15, p. 688, 1891). Dem dort entwickelten Gedankengange folgend müsste die Schwere verschieden gearteter Körper als Resultante der mit der Masse proportionalen Zentrifugalkraft und der Anziehung aller Massen der Erde, im allgemeinen auch verschieden gerichtet sein, wenn diese Anziehung von der substantiellen Beschaffenheit der Körper abhängig wäre.

Die Figur 11. gibt uns ein klares Bild der hier in Betracht kommenden Verhältnisse.

Die Zentrifugalkraft der Masseneinheit ist da durch \vec{PC} dargestellt, die auf die Masseneinheit zweier verschiedener Substanzen als verschieden angenommenen Anziehungen durch \vec{PG} und \vec{PG}' , die Schweren dieser zwei Masseneinheiten durch die Resultanten \vec{Pg} und \vec{Pg}' .

¹⁾ Die Veranlassung zu dieser Arbeit gab die von der philosophischen Fakultät der Universität Göttingen im Jahre 1906 gestellte Preisaufgabe:

«Von Eötvös wurde eine sehr empfindliche Methode angegeben Trägheit und Gravität der Materie zu vergleichen. Mit Rücksicht hierauf und im Hinblick auf die neuere Entwicklung der Elektrodynamik, sowie auf die Entdeckung der radioaktiven Substanzen ist das Newtonsche Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität möglichst weitgehend zu prüfen».

Der erste Preis von 3400 Mark wurde im März 1909 der gemeinschaftlichen Arbeit der drei obengenannten Autoren zuerkannt.

Die Winkel ε und ε' , welche die Schwerkäfte beider Substanzen mit der Richtung der Anziehung bilden,¹⁾ sind von einander verschieden und von der geographischen Breite abhängig. Für eine Substanz, die wir als Normalsubstanz betrachten wollen, die Dimensionen des BESSELSchen Ellipsoids und die HELMERTSche Formel beibehaltend, können wir den dieser Substanz entsprechenden Winkel ε unter verschiedenen Breitengraden leicht berechnen. Wir finden

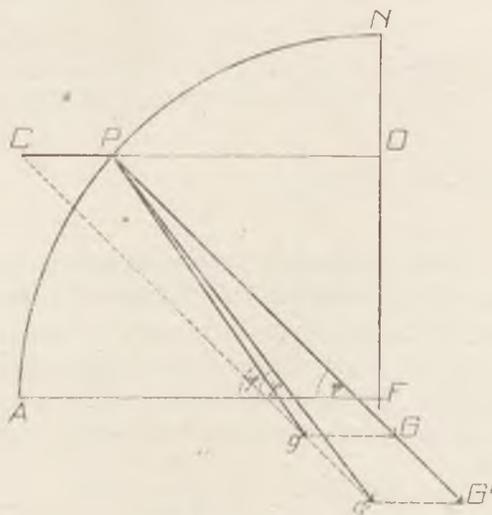


Fig. 11.

Geogr. Breite φ	ε
0°	0' 0"
15°	2' 58"
30°	5' 9"
45°	5' 57"
60°	5' 9"
75°	2' 58"
90°	0' 0"

Für den Winkel, den die Richtung der Schwere einer anderen Substanz mit jener der Normalsubstanz bildet, erhalten wir dann mit genügender Annäherung den Wert:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \frac{G' - G}{g} \varepsilon$$

wo G und G' die Werte der auf die Masseneinheiten der beiden verschiedenen Substanzen ausgeübten Anziehungen, und g die Schwere der Normalsubstanz bedeutet. Setzen wir

$$G' = G(1 + \kappa)$$

so wird

$$\varepsilon' - \varepsilon = \kappa \frac{G}{g} \varepsilon$$

oder mit geringerer, aber noch immer genügender Annäherung

$$\varepsilon' - \varepsilon = \kappa \varepsilon$$

¹⁾ Die in der Figur nicht bezeichnete Winkel ε und ε' sind durch die Gleichungen $\varepsilon = \varphi - \psi$ und $\varepsilon' = \varphi' - \psi$ gegeben.

Die Richtung der Schwere eines Körpers müsste dabei umso mehr nach dem näher gelegenen Pole abweichen, je kräftiger seine Substanz von der Erde angezogen wird.

Die wohlbekanntenen Pendelversuche NEWTONS beweisen nicht mehr, als dass κ kleiner als $\frac{1}{1000}$ sein müsse, die BESSELS, dass κ den Wert von $\frac{1}{60\,000}$ nicht erreicht. Diesen Grenzwerten entsprechen aber unter dem 45. Breitengrade noch ziemlich erhebliche Werte von $(\varepsilon - \varepsilon')$ so:

$$\varepsilon - \varepsilon' = 0''357 \text{ für } \kappa = \frac{1}{1000}$$

$$\varepsilon - \varepsilon' = 0''006 \text{ für } \kappa = \frac{1}{60\,000}$$

Wenn κ so gross wäre, dann müssten Lotsenkel verschiedenen Materials und Libellen mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt, merkbar verschiedene Richtungen der Vertikalen angeben. Man könnte sich aber in diesem Falle auch nicht mit einem einzigen Systeme von Niveauflächen und auch nicht mit einem einzigen Geoide begnügen. Geoide entsprechend verschieden stark angezogener Substanzen, welche sich am Äquator berührten, würden bei den Polen von einander abstehen und zwar um 1380 Centimeter im Falle, dass $\kappa = \frac{1}{1000}$, um 23 Centimeter im Falle dass $\kappa = \frac{1}{60\,000}$ wäre.

Die grosse Empfindlichkeit, mit der die Drehwage Richtungsverschiedenheiten der Schwerkraft zu erkennen gibt, befähigt dieses Instrument vor allen anderen, auch den kleinsten derartigen Differenzen nachzuspüren.

Zwei Körper verschiedener Substanz, an den zwei Enden des Drehwagebalkens aufgehängt, sollten ja in ostwestlicher Lage des Balkens eine Drillung des Aufhängedrahtes bewirken, wenn die Richtungen ihrer Schweren infolge verschieden starker Anziehung durch die Erde nicht die gleichen wären. Bei einer Umdrehung des Drehwagegehäuses um 180 Grad müsste aber diese Drillung zur entgegengesetzten werden und so ihre Messung ermöglichen.

Durch sorgfältige Ausführung dieses Beobachtungsplanes ist es möglich geworden, den äussersten zulässigen Grenzwert des fraglichen Koeffizienten κ weit unter jene Grenzen zu setzen, der diesem den NEWTONSchen und BESSELSchen Beobachtungen entsprechend zukommt.

Schon in seiner ersten diesbezüglichen Arbeit vom Jahre 1890 zeigte der Berichterstatter, dass bei dem Vergleiche von Messing, Glas, Antimonit und Korkholz κ kleiner als $\frac{1}{20\,000\,000}$ sein müsse.

In der neueren gemeinschaftlich mit den Herren Dr. D. PEKÁR und E. FEKETE ausgeführten Arbeit wurde aber diese Grenze noch weiter herabgedrückt. Es wurde erwiesen, dass sich der Koeffizient κ für Platin, Kupfer, Magnalium, Schlangenholz, Talg, Asbest,

Kupfersulfat in Kristallen und auch in Wasser gelöst und auch reines Wasser durch keinen Wert kundgibt, der $\frac{1}{100\,000\,000}$ erreichen würde.

Einem diesem letzteren Grenzwerte gleichen tatsächlichen Werte von α entspreche unter dem 45. Breitengrade eine Lotabweichung von nur 0,000 003 Bogensekunden, und ein Abstand zweier am Äquator zusammenfallender Geoide an den Polen, der nicht mehr als 0,014 Centimeter betrüge.

Sollte aber auch der Physiker durch weitere Verfeinerung seiner Untersuchungsmethoden einst noch geringfügigere Spuren selektiver Erdanziehung entdecken, so wird sich die Tätigkeit des Geodäten nach wie vor auf die Ausmessung eines einzigen für alle Arten der Substanzen ausreichend gültigen Geoids beschränken dürfen.

ANHANG.

Vorläufiger Bericht über die im Auftrage des Herrn Baron R. Eötvös ausgeführten Lotabweichungsbestimmungen und Schweremessungen.

VON KARL OLTAY.

Die relativen nördlichen *Lotabweichungen* beziehen sich auf ein Referenzellipsoid, welchem im Standpunkte Pankota die nördliche Lotabweichung 0 beigelegt wurde. Die geodätischen Elemente zu den Lotabweichungsbestimmungen, nämlich die sphäroidischen Entfernungen, wurden auf Grund der Hauptpunkte des k. ung. Triangulationsbureaus durch Punkteinschaltung bestimmt. Zur Orientierung des Referenzellipsoides wurde in Pankota auf einer ungefähr 10 Km langen Dreiecksseite die Azimutmessung durchgeführt.

Die Polhöhenbestimmungen geschahen mit einem Höhenkreis von STARKE & KAMMERER, welcher durch K. BAMBERG zu einem Universalinstrumente ergänzt wurde. Die Objektivöffnung ist 47 mm, die Brennweite 490 mm, der Durchmesser des Vertikalkreises 300 mm, der Parswert der Mikroskoplille 2"30; an dem Vertikalkreise ist die Sekunde direkt abzulesen. Das Instrument gehört dem Geod. Lehrstuhle des k. ung. Joseph-Polytechnikums und wurde vom Herrn Hofrat Professor L. von BODOLA gütigst zur Verfügung gestellt.

Die Polhöhen wurden mit der Meridianzenit-Distanzenmethode bestimmt. Die Beobachtungen geschahen in 6 Kreislagen; jede derselben erstreckte sich auf 8 Sterne. Es wurden immer 3 Kreislagen am ersten Tage und 3 am zweiten Tage ausgeführt, um eventuelle Refraktionsstörungen wahrzunehmen und zu eliminieren.

Die die Endresultate enthaltende Tabelle ist schon auf Seite 14. angegeben.

Die *Schweremessungen* wurden mit einem relativen Pendelapparate durchgeführt, welcher nach dem System des k. preuss. Geodätischen Institutes vom Mechaniker P. STÜCKRATH in Friedenau hergestellt ward. Der Apparat ermöglicht die Beobachtung von vier invariablen

Messingpendeln, welche auf einem gemeinsamen Stativ schwingen. Die mit Nummer 112, 113, 114, 115 versehenen Pendel wurden täglich in symmetrischer Weise viermal beobachtet, um die Schwankungen im Uhr gange möglichst zu eliminieren. Zur Messung der Koinzidenzen-Intervalle diente die Halbsekunden-Pendeluhr STRASSER & ROHDE 141, welche Geheimrat Dr. F. R. HELMERT, Direktor des k. preuss. Geodätischen Institutes in zuvorkommender Weise zur Verfügung gestellt hatte. Zur Reduktion der Uhrsekunden auf Sternzeitsekunden wurden fortwährende Zeitbestimmungen durchgeführt. Die Methode war: Durchgangsbeobachtungen in der Vertikalen des Polarsternes. Das dazu angewandte Instrument war dasselbe, welches bei den Polhöhenbestimmungen benützt wurde.

Es wurde ausser der Anschlussstation auf elf Stationen beobachtet. Auf zwei Stationen, in Pankota und in Világos, standen Uhr- und Pendelapparat unter einem wattierten Leinwandzelt, auf den anderen Stationen standen dieselben in thermisch gut isolierten Räumen, zumeist in Kellern. Im Zelte waren die Temperaturschwankungen allzu gross, so dass den im Zelte ausgeführten Beobachtungen eine geringere Genauigkeit zuzuschreiben ist als den übrigen.

Als Anschlussstation diente Potsdam. Es wurde im sogenannten „Mittelkeller“ des Geodätischen Institutes sowohl vor als nach der Kampagne beobachtet. Derselbe Vorgang wurde auch bei den in Budapest ausgeführten Messungen angewendet. Die Anordnung der Beobachtungen war folgende: Potsdam, Budapest, Feldstationen, Budapest, Potsdam.

Die Schwingungsdauerbeobachtungen führten in Potsdam und in Budapest zu folgenden Werten:

Station	P e n d e l				Mittel
	Nr. 115	Nr. 113	Nr. 112	Nr. 114	
Potsdam I	0.501 1439	0.501 1611	0.501 0693	0.501 1605	0.501 1337
Potsdam II	1435	1620	0694	1614	1341
II—I	— 4	+ 9	+ 1	+ 9	+ 4
Budapest I	2516	2696	1786	2686	2421
Budapest II	2505	2702	1774	2693	2418
II—I	— 11	+ 6	— 12	+ 7	— 3

Diese Doppelwerte lassen annähernde Schlüsse über die Genauigkeit der Beobachtungen ziehen. Bei der Ableitung der Schwerkraftswerte wurde als Anfangswert

$$g_{\text{Potsdam}} = 9.81283 \text{ m/sec}^2$$

angenommen.

Die Endergebnisse der ausgeführten Messungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Station	Geograph. Koordinaten		Höhe über der Adria	Beobachtete g. abgeleitet aus Pendel					Höhenkorrektion	g im Meeresniveau	Theoretische Et	sg
	φ	λ von Greenwich		115	113	112	114	Mittel				
Budapest	47°29'30"	19° 3'35"		9.80873	9.80869	9.80868	9.80870	9.80870				
Pankota	46°21' 7"	21°42' 5"	+103m	749	754	755	746	751	+32	9.80783	9.80754	+29
Világos	46°15'58"	21°36'27"	+116	766	769	763	767	766	+36	802	746	+56
Liváda	46°14'11"	21°37'49"	+114	758	762	757	758	759	+35	794	743	+51
Kuvin	46°10' 3"	21°35'18"	+121	759	761	759	758	759	+37	796	738	+58
Hidegkút	46° 4'27"	21°34'14"	+132	720	724	719	717	720	+41	761	730	+31
Arad	46°10'17"	21°19'25"	+109	744	745	739	741	742	+34	776	738	+38
Makó	46°13' 8"	20°28'41"	+ 87	752	751	753	750	751	+27	778	742	+36
Szeged	46°15'31"	20° 8'35"	+ 84	761	760	760	757	760	+26	786	745	+41
Szabadka	46° 6' 3"	19°39'55"	+115	749	743	744	739	744	+36	780	732	+48
Baja	46°10'48"	18°57'21"	+ 94	755	751	753	747	751	+29	780	738	+42



Lotabweichungen nach Norden längs des Meridians 39°15' östlich von Ferro.

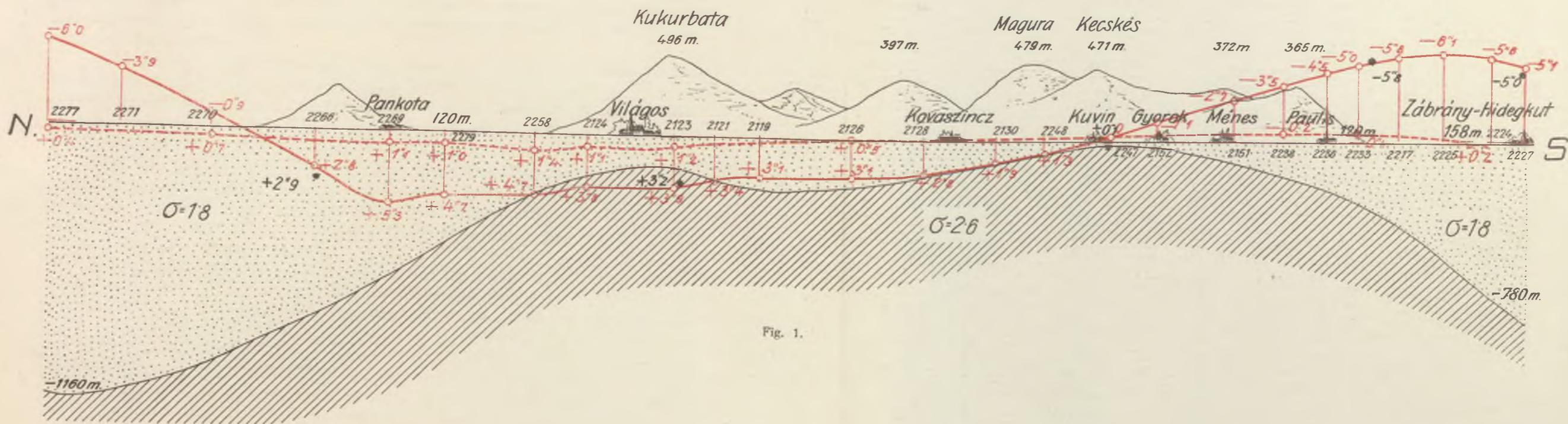


Fig. 1.

Lotabweichungen nach Osten längs des Breitenkreises von Méné ($\varphi = 46^{\circ}8'$).

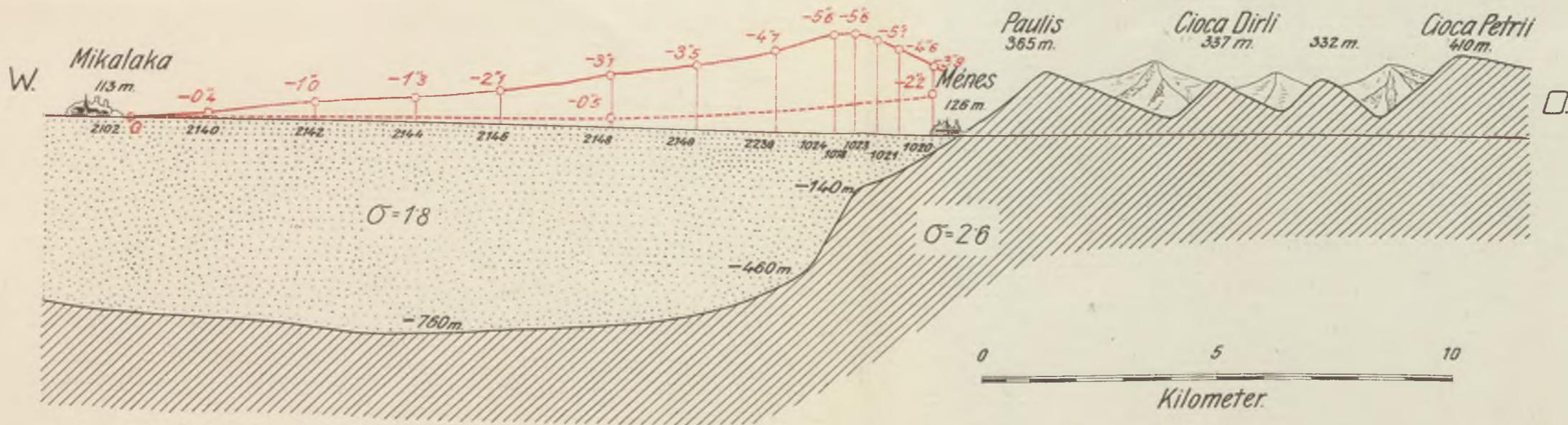


Fig. 2.