

Werk

Jahr: 1943

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:18

Werk Id: PPN101433392X_0018

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0018 | LOG_0030

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Das Lebenswerk des überragenden Meisters der Erdmessung Friedrich Robert Helmert

geb. 1843 — gest. 1917

Seinem Andenken zu seinem 100. Geburtstag gewidmet
von seinem ehemaligen Assistenten **A. Berroth**

„Gleichviel was entdeckt wird, gleichviel ob ein kühner Abenteurer, ein erfindungsreicher Industrieller oder ein geduldiger Gelehrter es zutage fördert — es sind dieselben Anlagen unseres Wesens am Werke, derselbe Drang nach Besitz, dieselbe Leidenschaftlichkeit, dieselbe Hingabe an die Natur, dieselbe Kunst der Beobachtung; es ist derselbe germanische Mann, von dem Faust sagt:

Im Weiterschreiten find' er Qual und Glück,
Er! unbefriedigt jeden Augenblick.“

H. St. Chamberlain.

A. Helmerts Werdegang, seine äußeren Erfolge und seine Persönlichkeit

Über die allgemeine Laufbahn des großen deutschen Gelehrten ist bereits soviel bekanntgeworden, daß es hier genügt, der wesentlichsten Daten zu gedenken (siehe u. a. die Nachrufe zu seinem Tode, *Zeitschr. f. Vermessungswesen* 1917; *Astr. Nachrichten* 1917; *Vierteljahrsschr. d. Astr. Gesellschaft* 1918).

Geboren am 31. Juli 1843 als Sohn des Stiftungskassiers Johann Friedrich Helmert in Freiberg i. Sa. besuchte er ab 1859 zum Studium der Ingenieurwissenschaften die Polytechnische Schule in Dresden.

Von seinen dortigen Lehrern fesselte ihn besonders der Geodät Professor Nagel, welcher in diesen Jahren zum Kommissar der Europäischen Gradmessung bestellt worden war. Durch ihn kam Helmert, einer inneren Stimme folgend, schließlich ganz zur Geodäsie und wurde 1863 Assistent an dieser Schule.

1866/68 hört er mathematische und physikalische Vorlesungen an der Universität Leipzig, 1869 wird er Observator an der Sternwarte in Hamburg und 1870 Lehrer, 1872 Professor an der Polytechnischen Schule, der späteren *Technischen Hochschule Aachen*.

Hier wirkte Helmert 16 Jahre lang und verfaßte seine Aufsehen erregenden Lehr- und Handbücher; 1886 leistete er einem Ruf nach Berlin als

Direktor des Pr. Geodätischen Instituts und als Nachfolger des um die Erdmessung hochverdienten Generals Baeyer Folge; 1892 konnte er in ein neues großes Forschungsinstitut auf dem Telegraphenberg bei Potsdam einziehen.

Um Helmert als Lehrer für den Nachwuchs zu erhalten, wurde er außerdem 1887 zum o. Professor an der Universität Berlin ernannt. Seit dieser Zeit wirkte er auch als Direktor des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung, welche aus der Europ. Gradmessung hervorgegangen war.

Seine erste Handlung in diesem Amt war der Entwurf eines großangelegten Arbeitsplans für die Erdmessungsarbeiten, der nun rastlos durchgeführt wurde und in Verfolg dessen er sowohl wie verschiedene seiner Mitarbeiter zahlreiche mündliche und schriftliche Berichte erstatteten, die in den „Verhandlungen“ gesammelt sind.



Helmert 1869
am Anfang seiner Laufbahn

Aus der reichen Fülle von Erfolgen und hohen Auszeichnungen, die Helmert zuteil geworden sind, seien hier nur drei besonders wichtige herausgegriffen; 1900 seine Ernennung zum o. Mitglied der Pr. Akademie d. W., Berlin, 1902 die Verleihung der Würde eines Dr.-Ing. e. h. durch die Technische Hochschule Aachen und 1912 die Verleihung der Großen Goldenen Medaille für Wissenschaft.

Helmert starb am 15. Juni 1917, fast 74 Jahre alt, betrauert von einer großen Gemeinde von Wissenschaftlern des In- und Auslandes — in dem stolzen Bewußtsein, ein unvergängliches Werk zum Ruhme deutscher Wissenschaft vollendet zu haben.

Besonders wertvoll erscheint es, einen Blick auf die *Naturanlagen* zu werfen, die Helmert die Vollendung seines gigantischen Werkes ermöglichten. Wir finden die für einen großen Wissenschaftler und eine kraftvolle Persönlichkeit charakteristischen Eigenschaften: Begabung für Theorie und wissenschaftliche Systematik bei höchster Wertung des Experiments und der Erfahrung; Befähigung zu innerem Schauen und Erraten, intuitive schöpferische Phantasie, die „Hefe, die den Teig des Wissens in die Höhe treibt“; ein sicheres Abschätzvermögen in personeller und materieller Hinsicht; die Gabe der Menschenführung, Willenskraft und Selbstsicherheit bei aller persönlichen Bescheidenheit.

Dazu als besonders wesentlich eine unerschütterliche Schaffenskraft bis in sein höchstes Alter hinein.

Immer wieder hat ihm sein guter Genius schöpferische Einfälle verliehen, und er hat nach einem Wort von Helmholtz als Kennzeichen

des wahren Forschers auch etwas vom göttlichen Schauen des Dichters in sich getragen.

Von äußeren Umständen günstig beeinflusst wurde sein Werk durch die lange stetige Friedensperiode und die günstige politische und wirtschaftliche Lage des Staates nach dem Sieg von 1870.

Es fehlte ihm schließlich nicht die glückliche Hand in der Auswahl seiner Mitarbeiter, die zum großen Teil ebenfalls zu hohem Ruf emporstiegen.

Hier wirkte sich besonders segensreich aus die Stabilität in der Erhaltung eines Stammes ständiger Mitarbeiter über mehrere Dezennien hinweg — bei der langen Anlaufzeit eines Gelehrten ein für jedes wissenschaftliche Institut äußerst wichtiger Gesichtspunkt.

Über die private Sphäre des Meisters äußert sich ein ihm nahestehender Mitarbeiter: Im persönlichen Verkehr konnte Helmert dem Fernerstehenden etwas zurückhaltend erscheinen, auch empfand er wenig Neigung zu landläufiger Geselligkeit; wer jedoch das Glück genoß, ihm persönlich nähertreten zu dürfen, lernte in ihm einen Menschen von herzugewinnender Liebenswürdigkeit kennen. Sein edler Gerechtigkeitssinn offenbarte sich in der aufrichtigen und lebhaften Freude, mit der er, seiner eigenen wissenschaftlichen Bedeutung sich sehr wohl bewußt, die Verdienste anderer anerkannte, aber auch in der unerbittlichen Schärfe, mit der er Irrtümer zurückweisen, und dem vernichtenden Urteil, das er über schlechte Charaktereigenschaften fällen konnte; immer aber war er geneigt, bei Beurteilung von Persönlichkeiten die guten Charaktereigenschaften und schätzenswerten Leistungen mit größerem Gewicht in Rechnung zu stellen als die ungünstigen*).

B. Die Werke der Aachener Periode (1870—1886)

Im Zuge des Erwerbslebens mußte Helmert in Aachen sich in der Hauptsache mit der „Niedereren Geodäsie“ beschäftigen — aber sein ganzer leidenschaftlicher Wissensdrang gehörte der „Höheren Geodäsie“. Bei der Gründlichkeit seines Wesens wollte er sich ein klares Gesamtbild seines Faches verschaffen und so trug er in emsiger Arbeit die Bausteine zusammen, aus welchen die drei großen Aachener Lehr- und Handbücher hervorgingen, die ihm schließlich auch das Rüstzeug für die großen praktischen Werke seiner zweiten Periode an die Hand gaben (alle drei im Verlag Teubner erschienen).

Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kl. Quadrate, Aachen 1872.

Die Mathematischen Theorien der Höheren Geodäsie, Aachen 1880.

Die Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, Aachen 1884.

Nachdem Helmert schon durch seine Dr.-Dissertation „Studien über rationale Vermessungen“, Leipzig 1868, sich eingehend mit Fehler- und Ge-

*) Eine beabsichtigte Erforschung des Stammbaums von Helmert mußte wegen des Krieges auf eine spätere Zeit verschoben werden.

nauigkeitsuntersuchungen beschäftigt hatte, gab er 1872 sein großes *Lehrbuch über Ausgleichsrechnung* heraus, von dem 1907 die zweite erweiterte Auflage erscheinen konnte.

Obwohl in diesem Werk der Hauptwert auf die praktischen Anwendungen gelegt wird, ist Helmert doch ausführlich auf die mathematischen Grundlagen eingegangen, wodurch das Buch auch einem weiteren Kreis von Physikern und Ingenieuren wertvoll wurde und bis heute seinen ersten Platz behaupten konnte.

In den Math. Theorien ist in Ausführlichkeit und durchsetzt mit zahlreichen eigenen Entwicklungen die vermessungstechnische Seite der Landes- und Erdmessung dargestellt. Insbesondere ist darin auch bereits die Theorie der Lotabweichungen enthalten, die er selbst später in so großartiger Weise in die Tat umsetzen sollte.

Die Phys. Theorien endlich kann man als das imposanteste der drei Werke bezeichnen, in dem das Walten des schöpferisch Genialen besonders ausgeprägt ist. Hier wird eine klassische Theorie des Schwerfeldes und der Figur der Erde in enger Verbindung mit den Erfahrungstatsachen streng systematisch aufgebaut, in seiner souveränen Sicherheit ein unvergängliches Standardwerk der wissenschaftlichen Weltliteratur.

C. Die Werke der Berliner und Potsdamer Periode (1886—1917)

Diese sind zum großen Teil unter Mitwirkung seiner zahlreichen Mitarbeiter im Geodätischen Institut und im Zentralbüro der Internationalen Erdmessung entstanden. Ein ständiger Austausch des Wissens, ein vertrauensvolles Geben und Nehmen hat hier das Werk zustande gebracht, das heute in so geschlossener Wucht vor uns tritt.

1. Das statische Schwerfeld der Erde. *a) Die Ausmessung des Schwerfeldes.* Nachdem Helmert schon bei Bearbeitung seiner *Phys. Theorien* die hohe Bedeutung dieses Gegenstandes zum Bewußtsein gekommen war, mußte er es besonders bedauern, daß kein einheitliches Bezugssystem für die Schweremessungen vorhanden war.

Er setzte dies in die Tat um, indem er in Potsdam eine absolute Messung der Schwerkraft mit Reversionspendeln durchführen ließ, die mit Beachtung aller Feinheiten und unter seiner eigenen tätigen Mitwirkung ins Werk gesetzt wurde und zu dem heutigen Ausgangswert für die ganze Erde führte (Potsdamer Schweresystem, Kühnen und Furtwängler, 1906).

Obwohl bei den Reversionspendeln insofern eine Vereinfachung vorlag, als dabei von der besonderen Ermittlung der Trägheitsmomente Abstand genommen werden konnte, waren sie doch infolge ihrer Kompliziertheit für eine allgemeine Anwendung nicht geeignet.

Dies geschah vielmehr durch Entwicklung einer Methode der relativen Schweremessung mit Hilfe von invariablen Pendeln, bei denen eine weitere

Vereinfachung dadurch eintrat, daß auch die Pendellänge nicht mehr ermittelt zu werden brauchte.

Mit solchen invariablen Pendeln wurde sowohl die Übertragung ins Ausland vorgenommen als auch das Inland in großen Zügen vermessen.

Zahlreiche Veröffentlichungen des Instituts geben Zeugnis von der gewaltigen Fülle der geleisteten Arbeit (Borrass, Schumann, Hecker und besonders Haasemann u. a.).

Ursprünglich nur in der Absicht der Bestimmung der Niveauflächen unternommen, konnten diese Messungen später doch dem Leipziger Geologen Kossmat zu einer interessanten geologischen Studie dienen, der sie als für die Aufdeckung der Struktur des Untergrundes geeignet und in Übereinstimmung mit dem vorhandenen geologischen Befund, z. B. im Verlauf der Salzachsen der norddeutschen Tiefebene fand.

(Diese Entwicklung hat neuerdings zu ihrer Verwendung in der Geophysikalischen Reichsaufnahme und zur Konstruktion wesentlich leistungsfähigerer Gravimeter geführt.)

Ein weiteres im Institut vorwärts getriebenes Verfahren behandelte die Eötvössche Drehwaage, die später ebenfalls für die Lagerstättenforschung wichtig wurde (Hecker, Schweydar).

Besonders gespannt war Helmert auf den Ausgang der von ihm auf Grund von Vorarbeiten von W. Siemens, Guillaume und Mohn in Szene gesetzten *Schweremessungen auf den Weltmeeren* durch Vergleich von Hg-Barometern mit Siedethermometern (Hecker). Gab dies doch endlich Gelegenheit, mit Messungen an eine sichtbare Niveaufläche selbst heranzukommen.

Die Ergebnisse brachten in der Tat eine große Überraschung. Die gefundenen Werte waren nicht, wie man wegen der geringen Dichte des Meeresswassers vermuten sollte, kleiner als normal, sondern es zeigte sich im großen ganzen ein durchaus normaler Verlauf. (Die Messungen zur See wurden späterhin bis in die jüngste Zeit hinein nach einem leistungsfähigeren Prinzip, aber ähnlichem Ergebnis, von dem Niederländer Vening Meinesz fortgesetzt.)

Schon 1890 hatte Helmert in einer Aufsehen erregenden Arbeit über die *Schwerkraft im Hochgebirge*, also dem entgegengesetzten Extremfall, für welchen man wegen der über das Meeresniveau aufragenden Massen eine vergrößerte Anziehung erwarten sollte, ebenfalls durchaus normale Werte gefunden — nachdem bereits andere Forscher im Himalaya und im Kaukasus auf diese Spur gekommen waren.

Diese paradoxen Ergebnisse führten zu der bekannten Theorie vom Schollengleichgewicht (Isostasie) als einem allgemein gültigen Aufbauprinzip der Erdrinde, wonach von Störungsgebieten abgesehen, fehlende oder überschüssige Massen im allgemeinen im Untergrund kompensiert erscheinen.

Die Störungsgebiete selbst wieder sind solche, in denen größere elastische Spannungen auftreten und nach Auslösung suchen und sich als Haupterdbebengebiete bemerkbar machen.

b) *Schwereformel und Niveauflächen.* Das gesamte international anfallende Material der Schweremessungen wurde im Zentralbüro von Borrass gesammelt, der sie einer einheitlichen Bearbeitung unterzog und die Berichte herausgab.

Diese dienten Helmert 1915 dazu, eine den Beobachtungen bestmöglich entsprechende Schwereformel für den Verlauf im Meeresniveau zu berechnen, die zu einer wichtigen Tabelle der entsprechenden physikalischen Konstanten führte.

Die Formel gibt außer der Erdabplattung NS auch eine geringe Abplattung OW, zeigt also eine Differenz der äquatorealen Hauptträgheitsmomente an und führt erstmalig zu einem dreiachsigen Ellipsoid.

Der Übergang von der Kurve der Schwerewerte auf die zugehörige Kurve der Raumpunkte, also der Erdfigur selbst, ist deswegen nicht einfach, weil auf jeden Meßpunkt alle Erdmassen und dazu im umgekehrten Quadrat der Entfernung, ferner die Zentrifugalkraft einwirken. Man müßte also annehmen, daß man dazu die Lage der Massen und ihre Dichte im ganzen Erdkörper erst kennen müßte.

Über diese Schwierigkeit hat aber schon die berühmte Abhandlung von Clairaut, 1743, hinweggeholfen. Helmert gab eine Verbesserung dieses Prinzips, indem er nachwies, daß für die Gültigkeit des Clairautschen Theorems die obigen Voraussetzungen gar nicht notwendig sind.

Die großen Fortschritte in der Beobachtungstechnik, die seitdem erreicht worden sind, lassen mit Sicherheit erwarten, daß bei genügender Beobachtungsdichte *das Bild von der Figur der Erde*, das Helmersts Seele so stark erfüllte, dereinst Wirklichkeit werden wird:

Ein ellipsoidischer Körper, dem zahlreiche flache Wellen mit weiteren bis zu unendlicher Feinheit abgestuften lokalen Verformungen aufgeprägt sind. Und darüber und darunter in unendlicher Fülle die gesamte Vielheit aller Niveauflächen, jede wieder ihre eigenen Abwandlungen zeigend und in ständiger Fluktuation — im Zusammenhang betrachtet ein wahrhaft unfaßliches Wunder der Schöpfung, genau so wie es im einzelnen die ungelösten Rätsel des Wesens der Gravitation, der Zentrifugalkraft und des Atoms selbst sind.

2. Das dynamische Schwerfeld der Erde. a) *Die zeitlichen Schwankungen der Schwerkraft unter dem Einfluß der Flutkräfte.* Wie die Niveauflächen selbst, jedoch in anderem Maße, erleidet auch der feste Erdkörper unter dem Einfluß von Sonne und Mond periodische elastische Hebungen und Senkungen, die mit geringen Neigungen der Schollen verbunden sind.

Derartige Messungen sind im Institut mit Hilfe von Horizontalpendeln und eines Spezialgravimeters durchgeführt (Hecker, Schweydar) und später von anderen weitergeführt worden.

Daraus konnte der entsprechende Mittelwert des Starrheitskoeffizienten der Erde abgeleitet werden (Schweydar).

Wenngleich diese Schwankungen der Lotlinie an jedem Ort nur geringe Beträge erreichen, so konnte doch vermutet werden, daß sie vielleicht auch in langjährigen genauen Breitenbeobachtungen — die von der Lotlinie ausgehen — nachweisbar sein würden. Dieser Nachweis gelang Przybyłok aus dem Material der klimatisch günstig gelegenen Station Carloforte. Es bestätigte sich hier wieder das Gesetz der großen Anzahl, wonach auch bei verhältnismäßig groben Einzelmessungen aus einem umfangreichen und sorgfältig beobachteten Material doch recht feine versteckte Komponenten abgeleitet werden können.

b) *Die Kreiselbewegungen der Erdochse.* Die älteren Beobachtungen der geographischen Breite auf ein und denselben Stationen führten zu der Schlußfolgerung, daß die Rotationsachse im Erdkörper unverrückbar festliege.

Dies kann aber nach den Lehren der klassischen Mechanik nur stattfinden, wenn die Rotationsachse dauernd mit einer Hauptträgheitsachse zusammenfällt.

Dies wird für einen beliebigen Körper, dessen Hauptträgheitsmomente verschieden sind, niemals zutreffen. Für einen starren Erdkörper hat schon Leonhard Euler 1790 den Beweis erbracht, daß der Rotationspol um den im Körper festliegenden Trägheitspol in Richtung der Rotation einen Kreis beschreibt von der Periode von 10 Monaten (303,3 Tage nach Schweydar).

Nachdem Bessel u. a. aber aus ihrem Beobachtungsmaterial schon Schwankungen der Rotationsachse vermutet hatten, fand schließlich Chandler 1891 aus einem größeren Beobachtungsmaterial eine Periode von 427 Tagen, die im gleichen Jahre Newcomb als durch die Elastizität der Erde hervorgerufen erklären konnte.

Nachdem weitere Sternwarten sich mit der Frage beschäftigt hatten, wurde im Zentralbüro der Internationalen Erdmessung eine fortlaufende Breitenbeobachtung auf 6 bzw. 8 Stationen durchgeführt mit dem schließlichen Ergebnis, daß die beobachtete Periode zu 432,5 Tagen bei einer durchschnittlichen Amplitude der Polbewegung von etwa 6 m gefunden wurde.

Radau und Helmert wiesen schließlich nach, daß in der beobachteten Periode eine weitere unbekannte Schwankung steckte, die sie durch meteorologische Einflüsse (Niederschläge und andere Massentransporte) erklären konnten.

Helmert zeigte dabei, daß es nicht die Größe der Massentransporte allein war, die diesen Effekt ausmacht, sondern diese durch Resonanzwirkung sechsmal vergrößert wirkt.

Ein weiteres kleines Glied wurde im Zentralbüro als von Refraktionswirkungen herrührend erkannt.

Die Periodenverschiebung von 303,3 auf 432,5 Tage erklärte sich schließlich so, daß auf die elastische Nachgiebigkeit eine Verlängerung um 120 Tage,

auf die Massentransporte eine solche von 9 Tagen zu schieben ist (Albrecht, Wanach).

Zu diesem Gegenstand gehören weiterhin die unter der Bezeichnung Präzession und Nutation zusammengefaßten Erscheinungen.

Der gesamte Effekt ist für die Aufstellung der astronomischen Kataloge und für geodätische Beobachtungen von größter Bedeutung.

3. Die Gestaltelastizität der Erde. Wenn sich die Rotationsachse der Erde etwas verlagert, so wird an jedem Ort die Zentrifugalkraft etwas geändert und dies hat zur Folge, daß der Erdkörper ständig bestrebt ist, die Trägheitsachse mit der Rotationsachse wieder zusammenfallen zu lassen.

Dies gelingt wegen der geringen Elastizität jedoch nur unvollkommen, und dadurch wird die Umlaufzeit der Rotationsachse größer als bei völlig starrer Erde.

Aus dem Verhältnis der Umlaufzeiten der Rotationsachse bei starrer Erde (Euler, berechnet) zu der bei elastischer Erde (Chandler, beobachtet) läßt sich der Grad der Starrheit der Erde angeben (Herglotz, Schweydar).

Noch einen anderen Weg beschritt Schweydar mit den Untersuchungen über die elastischen Gezeiten der Erde, worauf bereits im Abschnitt 2a hingewiesen wurde.

Weitere Hilfsmittel bieten die Erdbebenwellen, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Elastizität und der Dichte der Schichten abhängt, die sie durchlaufen. Da dies je nach der gegenseitigen Lage von Herd und Beobachtungsort ganz verschiedene, zum Teil in sehr große Tiefen hinreichende Schichten sind, gibt dieses Verfahren einen guten Einblick in den Elastizitäts- und Dichteaufbau der ganzen Erde.

Wie an anderen Beobachtungsstellen, so wurden auch im Geodätischen Institut eigene Erdbebenbeobachtungen angestellt (Hecker, Schweydar, Meissner).

Schließlich wurden auch noch die langperiodischen Gezeitenwellen des Meeres selber für das Problem herangezogen, aus deren theoretisch zu erwartenden Größen im Verhältnis zu den beobachteten wieder eine derartige Schlußfolgerung möglich ist.

Das übereinstimmende Ergebnis all dieser zum Teil sehr schwierigen Untersuchungen führte zu der Erkenntnis, daß der Erde als Ganzes betrachtet die $2\frac{1}{2}$ -fache, an der Oberfläche ein Drittel, im Kern die vierfache Starrheit des Stahles zukommt.

4. Die Gradmessungsarbeiten Helmersts. a) *Die astronomisch-geodätischen Beobachtungen.* Die Grundlage aller astronomischen Beobachtungen ist eine genaue fortlaufende Zeitkontrolle. Zu diesem Zwecke wurde eine Reihe der besten Pendeluhrn in einem wärmeisolierten Raum aufgestellt und deren Standkorrekturen möglichst in Abständen von wenigen Tagen durch exakte

astronomische Beobachtungen abgeleitet — über all die Jahrzehnte hinweg gesehen eine Arbeit von ungeheurem Umfang.

Mit der Einführung der funktelegraphischen Zeitzeichen gewannen diese Beobachtungen später noch weiter an Bedeutung als Orientierungshilfsmittel für die Schifffahrt und für genaue Zeitangaben bei wissenschaftlichen Untersuchungen aller Art. (Noch später erfolgte im Institut die Aufstellung von Quarzuhren, die so genau sind, daß sich daraus sogar eine Veränderung der Rotationsdauer der Erde einmal wird feststellen lassen.)

Zur Ermöglichung der Ableitung der Figur der Erde in Mitteleuropa ließ Helmert in Preußen jahrelang ein umfangreiches Programm zur Bestimmung von physischen Lotrichtungen (Breite und Länge) und zur Orientierung der trigonometrischen Messungen erledigen (Azimut).

Hierzu waren die Methoden und Instrumente erst auszuarbeiten und ständig zu verbessern (Albrecht, Fischer, Löw, Galle, Schumann, Wanach, v. Flotow, Haasemann und besonders Schnauder u. a.).

Für das internationale Programm der Bestimmung der Polbewegung wurden die umfangreichen Beobachtungen dieser Art im Zentralbüro einheitlich bearbeitet und in bisher 6 Bänden niedergelegt (Albrecht, Wanach, Mahnkopf).

b) Größe und Gestalt der Erde. Zur Bestimmung der Achsenlängen des Ellipsoids in internationalem Metermaß dienten die verschiedenen Gradmessungen, für die Abplattung dazu noch die Schweremessungen.

In der Zeit vor Helmert erfolgten die Gradmessungen im wesentlichen so, daß zu einer geodätisch gemessenen Bogenlänge der zugehörige Zentriwinkel astronomisch bestimmt wurde, woraus sich der Halbmesser des anschließenden Kreises berechnen läßt.

Später, als man merkte, daß die physischen Lotrichtungen durch lokale Massen gestört sind, suchte man diesen so zu entgehen, daß der Bogen durch zahlreiche Lotrichtungen unterteilt wurde, wodurch die lokalen Störungen wie zufällige Fehler größtenteils herausfallen.

Helmert brachte nun unter besonderer Mitwirkung von Börsch, Krüger, Schumann, Galle u. a. dadurch neue verbessernde Elemente in die Gradmessungen, daß er von linienförmiger zu flächenförmiger Erstreckung überging, wofür er die theoretischen Beziehungen ableitete.

Auch führte er wichtige Genauigkeitsverbesserungen dadurch ein, daß er größere Dreieckskomplexe zu Polygonen zusammenfügte, die sich schließen mußten — und durch häufige Anwendung einer von Laplace herrührenden astronomischen Kontrolle, die bewirkte, daß Verbiegungen der Dreiecksketten auf weite Strecken hin vermieden werden konnten.

Die Erdfigur wurde nun so bestimmt, daß ihre Fläche die physischen Lotrichtungen nach Möglichkeit senkrecht durchschneidet, wobei Reste, die Lotabweichungen, übrigbleiben.

Selbstverständlich besteht ein Zusammenhang zwischen Lotabweichung und Schwerestörung, die ein und dieselbe Ursache, die Massenstörung, haben.

Schon Helmert ist es nicht entgangen, daß hier ein Weg vorlag, die Massenstörung selbst und dadurch schließlich *nutzbare Lagerstätten als Hauptziel* durch streng physikalische Methoden festzustellen, und es ist ein Hauptverdienst von ihm, hierzu die Grundlagen geschaffen zu haben. Erst geraume Zeit nach seinem Tode wurden die Schweremessungen (im Bereich des Instituts durch seinen Nachfolger Kohlschütter) genau so wie die Seismik zu einem der wichtigsten Hilfsmittel der bergmännischen Schürfung.

Neben den nunmehr feststehenden Bestwerten für Größe und Figur der Erde und der Rückwirkung der ganzen Methoden auf die Güte der allgemeinen Triangulation ergab sich als erstes Beispiel einer detaillierten Niveaufläche die Ableitung des Geoids im Harz (Galle).

An bedeutsamen Werken, die umfangreiche Rechnungen und Ausgleichungen innerhalb Europas verlangten, sind erschienen: Lotabweichungen, Heft 1—5 (Börsch, Krüger), Die Längengradmessung in 52° Breite (Helmert, Börsch, Krüger), später noch Die Längengradmessung in 48° Breite (Galle).

Die enge Verflechtung von Astronomie und Geodäsie, von Gauß, Bessel, Hansen u. a. schon eingeleitet und von Helmert ausgebaut, beweist seinen genialen Weitblick und sein aufs Ganze gerichtetes universales Streben.

5. Die spezielle geodätische Wissenschaft. Den Zielen des Instituts entsprechend lag Helmert auch die Förderung der speziellen geodätischen Wissenschaft ständig am Herzen.

Diese bezog sich in theoretischer und praktischer Hinsicht auf sämtliche Gegenstände, die Längen- und Winkelmessungen, den Aufbau der Triangulationen, die Landesvermessung und das Nivellement (Seibt) betreffen.

Sie umfaßte Längenmaße, Basisapparate, Winkelmeßinstrumente und Kreisteilungen, die Raumkurve des Lichtstrahles und Höhenübertragungen (Schnauder, Kühnen, Förster u. a.).

Im Rahmen der umfangreichen geodätischen Rechnungen war es unerläßlich, daß die neuen Probleme ständig mathematisch und rechentechnisch unterbaut wurden (Krüger).

Auf diesem Gebiet sind zahlreiche Veröffentlichungen mathematischen Inhalts entstanden, unter denen besonders die konforme Projektion von L. Krüger hervorragt, die als Koordinaten- und Kartengrundlage in den meisten Ländern eingeführt wurde.

Ununterbrochen waren aus einem mit Beobachtungsfehlern durchsetzten, zum Teil internationalen Material mit der Methode der kleinsten Quadrate die besten Werte und das Genauigkeitskriterium abzuleiten. Im Verfolg dieser gewaltigen Arbeiten entstand später eine wichtige Weiterentwick-

lung der Methode der kleinsten Quadrate für große Dreiecksnetze durch H. Boltz.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen hier auch die langjährigen Untersuchungen über das Mittelwasser der Ost- und Nordsee (Westphal, Kühnen, Meissner), und schließlich ist zu gedenken der wertvollen Hilfeleistung des Institutsmechanikers Fechner, aus dessen geschickter Hand zahlreiche feinmechanische Apparate aller Art hervorgingen.

Die Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften

Seitdem Helmert o. Mitglied der Akademie geworden war, hat er in mehr als einem Dutzend geistvoller wissenschaftlicher Arbeiten allgemeiner und spezieller Art hauptsächlich seinen Lieblingsstoff, das Schwerefeld, in prägnanter mathematischer Formulierung behandelt.

Sie werden als unvergängliche Merksteine der Wissenschaft immer denkwürdig bleiben und jeder weiteren Forscherarbeit als feste Stützpunkte dienen.

Besonders zu gedenken ist noch seiner in der Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften 1910 erschienenen Zusammenfassung über die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde, die in formvollendetem Gewand als eine reife Frucht seines Alters gesicherte Ergebnisse darbietet.

Weitere zahlreiche Aufsätze aus seiner Feder sind in der Zeitschr. f. Vermessungswesen, der Zeitschr. f. Math. u. Phys., den Astr. Nachrichten u. a. erschienen.

D. Die Folgerungen aus Helmersts Vermächtnis

Es ist unverkennbar, daß mit dem Ausklingen des Lebens von Helmert auch ein großer Teil seiner Problemstellungen heute als verwirklicht betrachtet werden kann. Wir kennen jetzt die großen Formen der mathematischen Figur der Erde, wir kennen ihren dynamischen Rhythmus, ihre elastischen Eigenschaften und den isostatischen Aufbau in großen Zügen.

Damit ist ein erster wichtiger Meilenstein erreicht, eine „*Helmerstsche Periode der Erdmessung*“ abgeschlossen. Aber jede Lösung eines Problems wirft neue Probleme auf, und Bewegung ist die Ursache alles Lebens, wie Leonardo da Vinci sagt.

Helmert hat es zwar nicht selbst erlebt, sicher aber geahnt, daß seine idealen Geisteskinder einstens aus der Sphäre der abstrakten kosmischen Erkenntnis in die Sphäre eines realen völkischen Gebrauchswertes hineintreten würden. Heute sind die seismischen und die gravimetrischen Forschungen durch ihre praktischen Anwendungen längst zu einer der wichtigsten Forderungen des deutschen Lebens überhaupt geworden.

Besonders nach der physikalischen Seite hin steht der Höheren Geodäsie noch eine unendliche Entwicklung offen. Das Hauptproblem bleibt nach wie

vor die Figur der Erde, in Zukunft aber in erweitertem Sinne: die Gesamtheit aller Niveauflächen in all ihrem Formenreichtum und ihrem Leben, im Zusammenhang mit der Massenverteilung betrachtet.

Wenn heute gewisse Differenzen der Hauptträgheitsmomente des Erdkörpers sich außer in den Schwerkraftmessungen und der Polbewegung auch in der Mondbewegung und in der allgemeinen Präzession und Nutation des Erdumlaufs wieder erkennen lassen, so werden eines Tages auch eingehendere Angaben über die Massenverteilung im Erdinnern ihren kosmischen Widerhall finden.

Die weitere Erforschung namentlich der kleineren Undulationen der Niveauflächen wird für *die geologische Wissenschaft und bergbauliche Praxis* auch weiterhin einen gewaltigen Auftrieb bringen.

Neue Wege werden gefunden werden, *das Festpunktfeld und die Kartenaufnahme* in unerschlossene Gebiete vorzutragen, und schließlich wird jugendlicher Tatendrang auch nicht vor dem noch ungelösten Problem einer geodätischen Verbindung der Kontinente zurückschrecken. Eine solche wird es einmal erlauben, das gewaltig angehäuften geodätische und geophysikalische Wissensgut unserer Zeit zu einem die Erkenntnisse über den Erdkörper und seiner Teile wesentlich fördernden Ganzen zusammenzufassen.

Welche Bedeutung schließlich dem jüngsten Kind der geodätischen Wissenschaft, der „*Angewandten Geodäsie*“ heute schon zukommt, das haben im Laufe des Krieges Unzählige erfahren, die sich mit den vielen neuen Methoden und Instrumenten zur Punkt- und Richtungsfestlegung, der Ortsbestimmung, des Ziels und Richtens auf und unter der Erde, auf und in den Meeren und in der Luft befassen mußten.

Besonders interessante Probleme treten hierbei dadurch auf, daß die gegnerischen Ziele bei Nacht und Nebel und häufig in höchster gegenseitiger Bewegung gefunden und getroffen werden müssen.

Wenn diese Anwendungsgebiete erst einmal systematisch bearbeitet sein werden, wird dieses neue große Wissensgebiet als ein selbständiger Zweig der geodätischen Wissenschaft allgemeine Beachtung und Wertschätzung finden können.

Wie bei seinem typischen Vertreter, unserem unvergeßlichen Meister Helmert, so wird es auch künftig das Ziel deutscher Wissenschaft sein, durch eine Synthese von Theorie und Beobachtung die Probleme einer rätselvollen Natur zu ergründen — soweit nicht sofort auf praktische Ziele gerichtet, in der klaren faustischen Erkenntnis, daß in der Erforschung des Schöpfungswerkes der Mensch sich schließlich selber findet.

„Was Ihr den Geist der Zeiten heißt,
das ist im Grund der Herren eigener Geist,
in dem die Zeiten sich bespiegeln.“

Goethe.

Zusammenfassung des Inhalts

- A. Helmerts Werdegang, seine äußeren Erfolge und seine Persönlichkeit.
 - B. Die Werke der Aachener Periode (1870—1886).
 - C. Die Werke der Berliner und Potsdamer Periode (1886—1917).
 - 1. Das statische Schwerfeld der Erde. a) Die Ausmessung des Schwerfeldes. b) Schwereformel und Niveauflächen.
 - 2. Das dynamische Schwerfeld der Erde. a) Die zeitlichen Schwankungen der Schwerkraft unter dem Einfluß der Flutkräfte. b) Die Kreisbewegungen der Erdachse.
 - 3. Die Gestaltelastizität der Erde.
 - 4. Die Gradmessungsarbeiten Helmerts. a) Die astronomisch-geodätischen Beobachtungen. b) Größe und Gestalt der Erde.
 - 5. Die spezielle geodätische Wissenschaft.
 - D. Die Folgerungen aus Helmerts Vermächtnis.
-

Über Festlandgezeiten und Polhöenschwankung

Von **Richard Schumann**. — (Mit 2 Abbildungen)

1. In einem Akademievortrag: „Die Gezeiten der festen Erde, des Meeres und der Atmosphäre“ (Berlin 1942) sagt A. Defant auf S. 35: „Die flut-erzeugenden Kräfte von Mond und Sonne greifen aber die gesamte Masse der drei Schichten (d. h. Erdschichten) an und wir müssen uns deshalb bewußt bleiben, daß auch im Innern derselben Gezeitenerscheinungen zur Ausbildung kommen können“; ferner auf S. 36: „Es ist auch zu erwarten, daß es interne Gezeitenwellen des Erdinnern geben wird, denen vielleicht eine gewisse geotektonische Bedeutung zukommt.“

Nach der bekannten Hypothese von Airy *schwimmen* die Oberflächenschichten der Erde auf ihren Unterlagen; Gezeiten in *vertikalem* Sinne wies vor 40 Jahren O. Hecker nach aus mehrjährigen Messungsreihen mit Horizontalpendeln mittels harmonischer Analyse, ihre Größenordnung war 0,1 m. Es liegt nahe, nach rhythmischen Verschiebungen der schwimmenden Oberflächenschichten in *horizontalem* Sinne, sowie auch nach Verschiebungen in sich zu suchen; die letzteren werden erleichtert durch die in verschiedenem Ausmaße überall vorhandene „Klüftung“. Im allgemeinen wird für jede Beobachtungsstation mit einer nordsüdlichen und einer ostwestlichen Komponente zu rechnen sein. Da diese Stationen selbst mitbewegt werden, so müssen von diesen Gezeiten unabhängige Marken zum Vergleich benutzt