

www.e-rara.ch

Handbuch der Physik

[Elektricität und Magnetismus (II)]

**Brodhun, Eugen
Braun, Ferdinand
Auerbach, Felix
Czapski, Siegfried
Drude, Paul
Exner, Josef Karl
Feussner, Wilhelm
Graetz, Leo
Kayser, H.
Melde, Franz
Oberbeck, Anton
Pernet, Johann
Pockels, Friedrich
Pulfrich, Carl
Stenger, Fr.
Straubel, Dr.
Waitz, Karl**

Breslau, 1895

ETH-Bibliothek Zürich

Shelf Mark: Rar 23050: 3/2

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-65765>

Magnetische Messungen.

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelinformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [\[Link\]](#)

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [\[Link\]](#)

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [\[Link\]](#)

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [\[Link\]](#)

Magnetische Messungen.

Uebersicht. Die magnetischen Messungen laufen in vielen Hinsichten ihrem Zweck und ihrer Methodik nach den elektrischen Strommessungen (s. o. pag. 206) parallel. Wie dort um die Stärke der Ströme, so handelt es sich hier in erster Linie um die Stärke des Magnetismus, und um sie zu ermitteln, bedient man sich dort wie hier der bezüglichen Aussenwirkungen. Grösser jedoch als die Aehnlichkeiten sind die Unterschiede zwischen beiden Gebieten. Erstens handelt es sich dort, wenigstens in den weitaus meisten Fällen, um die Messung einer linearen Grösse, nämlich der Stromstärke in einem linearen Leiter, hier dagegen um den Magnetismus eines Körpers, den man erst vollständig ermittelt hat, wenn man seine auf drei Coordinatenaxen bezogenen Componenten, oder, was auf dasselbe hinausläuft, wenn man die Axe und die Grösse der Magnetisirung angegeben hat. Noch mehr, während in einem einfachen Leiter die Stromstärke im stationären Zustande überall die gleiche ist, besitzen die verschiedenen Theile eines Magneten verschieden starken Magnetismus. Es bietet sich also die weitere Aufgabe dar, diese einzelnen Theile zu untersuchen und damit zugleich die Vertheilung des Magnetismus zu ermitteln, eine Aufgabe, welche sich streng genommen freilich nicht lösen lässt, da dieselbe Aussenwirkung durch sehr verschiedene Vertheilungen hervorgerufen werden kann (s. d. vor. Art.), welche aber in beschränkterem Sinne Lösungen zulässt in der Weise, dass man z. B. die GAUSS'sche Oberflächenvertheilung ermittelt, oder dass man die Pole (s. o.) angiebt, welche den Magneten bei Fernwirkungen, resp. die äquivalenten Pole, welche ihn bei einer bestimmten Nahewirkung vertreten (s. o. pag. 45); insbesondere wird es sich bei Magnetstäben von symmetrischem Querschnitt, wie sie in der Praxis schon vielfach angewandt werden, um die Bestimmung des Polabstandes handeln. Ein ferneres Problem betrifft die Messung derselben Grössen, von denen bisher mit Bezug auf den Magneten selbst die Rede war, also insbesondere der Stärke und Richtung des Magnetismus, für jenen ganzen Raum, den man ein magnetisches Feld nennt, sei es, dass dies Feld von einem künstlichen Magneten (resp. elektrischen Strömen, s. Art. »Elektromagnetismus«) oder von dem Erdmagnetismus herrührt. Dieser letztere Hinweis führt uns auf einen weiteren Punkt, der dem in Rede stehenden Gebiete ein charakteristisches Gepräge verleiht. Bei allen magnetischen Messungen nämlich befindet man sich von vornherein in dem magnetischen Felde der Erde, und man müsste daher behufs ungetrübter Messungen die Erdkraft unwirksam machen (z. B. durch Compensirung, s. o. pag. 55), wenn man es nicht in den meisten Fällen vorzöge, gerade umgekehrt den Erdmagnetismus für die Messung des Stabmagnetismus nutzbar zu machen. Die Messung wird damit zu einer Vergleichung beider Grössen, so dass man die eine findet, wenn man die andere kennt oder, durch Hilfsbeobachtungen gewisser Art, eliminiert. Man ersieht hieraus, dass die magnetischen und die erdmagnetischen Messungsmethoden gemeinschaftlich zu behandeln sind, wenigstens soweit es sich um Intensitätsmessungen handelt; für den Erdmagnetismus kommen dann noch Richtungsmessungen (Deklination, Inklination) hinzu.

Was die Methodik, also insbesondere die Wirkungen betrifft, welche man zur Messung des Magnetismus benutzt, so stehen die Fernwirkungen auf andere Magnetkörper, welche drehbar aufgestellt sind, vorn an; die betreffenden Instru-

mente, welche den Galvanometern entsprechen, heissen Magnetometer. Neben ihnen finden zuweilen, analog den Stromwaagen, auch magnetische Waagen Anwendung. An dritter Stelle sind die auf der Induction von Magnetismus oder von elektrischen Strömen durch Bewegung von Spulen oder Magneten oder Aenderung ihres Magnetismus beruhenden Methoden zu nennen, welche sowohl für erdmagnetische als auch für magnetische Messungen, zumal in weichen Eisenkörpern, von grosser Bedeutung geworden sind. An letzter Stelle endlich steht die Messung vermittelst der Tragkraft der Magnete und verwandter Kraftäusserungen.

Wie die Stärke eines elektrischen Stromes eine tiefere Bedeutung erst gewinnt, wenn man sie mit der elektromotorischen Kraft, die sie hervorrief, zusammenhält, und wie demgemäss im früheren der Strommessung die Messung der elektromotorischen Kraft vorangeschickt wurde, so müsste auch hier die magnetisierende Kraft als Messungsgrösse eingeführt und den Messungen von Stabmagnetismen vorangestellt werden. Nun ist aber die Messung der magnetisierenden Kraft in exakterer Weise nur bei einer einzigen Erzeugungsart des Magnetismus, nämlich bei der elektromagnetischen, möglich; das Nähere über diese Untersuchungen und ihre Ergebnisse muss daher dem Artikel über Elektromagnetismus vorbehalten bleiben.

Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass die Methoden und Apparate zum Theil eine recht verschiedene Gestalt annehmen, je nachdem es sich um absolute Bestimmungen oder lediglich um relative, z. B. Vergleichen von Magnetismen, Aenderungen mit der Zeit oder dem Ort u. s. w., handelt.

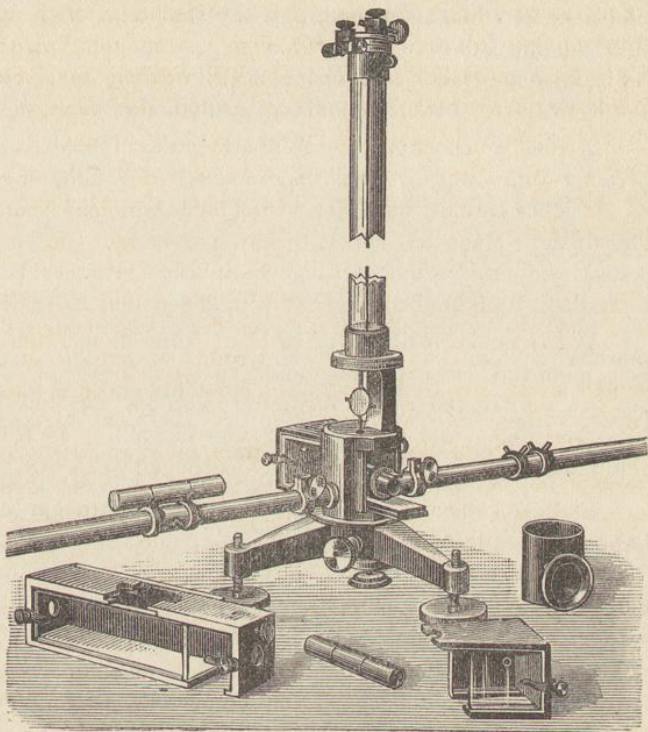
Magnetometer.

Messung magnetischer Intensitäten.

Fast alle magnetischen Messapparate stellen ein um eine Axe drehbares System dar, welchem bei Ausführung der Messungen feste Systeme gegenüber gestellt werden. Diejenigen Apparate, bei welchen jene Drehungsaxe vertikal steht, heissen Magnetometer im engeren Sinne des Wortes.¹⁾ Das drehbare System besteht aus einem Magneten von für die betreffenden Zwecke geeigneter Form, Grösse und Stärke, sowie aus Hilftheilen, welche zur Befestigung, Messung u. s. w. dienen. An der Axe ist das System entweder mittelst einer Spitze angebracht, oder es hängt an einem oder zwei Fäden herab (Unifilar-resp. Bifilar-Magnetometer); jene Einrichtung ist bequemer, einfacher und leichter transportabel, diese, die Faden-Aufhängung, zuverlässiger und empfindlicher. Bei beiden muss man zunächst dafür sorgen, dass der Magnet jederzeit in horizontaler Lage sei, was man in Anbetracht der neigenden Kraft des Erdmagnetismus (s. w. u. »Inklination«) nur durch besondere Einrichtungen erreichen kann, auf die aber hier nicht näher eingegangen zu werden braucht, da sie rein mechanischer Natur sind und bei jedem einzelnen Apparat deutlich in die Augen fallen; nur sei bemerkt, dass, zum Theil mit aus diesem Grunde, die Faden-Aufhängung in ihrem untersten Theile in eine Suspension von starrem Charakter übergeht, bestehend aus einem Stäbchen oder ähnlichem Metalltheil in vertikaler und einem darauf senkrechten, also in horizontaler Lage befindlichen Schiffchen oder Träger für den Magneten; es ist damit zugleich die vielfach unentbehrliche

¹⁾ Fig. 127 zeigt die GAUSS-WEBER'sche Form des Magnetometers mit der besseren Sichtbarkeit halber zum Theil abgenommenen Theilen, Fig. 128a und b zwei von F. KOHLRAUSCH herführende Formen.

Gelegenheit gegeben, den Magneten umlegen, d. h. in einer gegen die vorhergehende um 180° gedrehten Lage in das Schiffchen bringen zu können. Bei der Spitzen-Einrichtung muss man die Reibung möglichst gering machen und die doch noch vorhandene, da man sie nicht exakt ermitteln kann, entweder ganz vernachlässigen oder durch geeignete Combination von Beobachtungen ihren Einfluss möglichst reduciren und ihn dann ebenfalls vernachlässigen; bei der Faden-Aufhängung muss man die Torsion so klein wie möglich machen, indem man einen oder einige Coconfäden oder, wenn diese wegen des grossen Gewichtes des

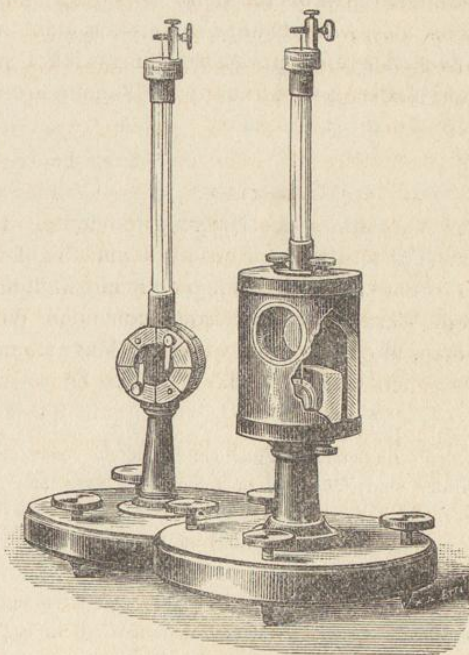


(P. 127.)

Magneten oder der feuchten Luft nicht brauchbar sind, ausgeglühte Metalldrähte benutzt, kann dann aber die doch noch vorhandene Torsion leicht in Rechnung ziehen; bei der Bifilaraufhängung tritt dann noch die Wirkung der Schwere hinzu. Hiervon abgesehen befindet sich der Magnet in dem Felde des Erdmagnetismus und zwar, da er sich nur in einer horizontalen Ebene drehen kann, unter der Einwirkung der Horizontalcomponente H desselben; bei einigen Methoden compensirt man sie ähnlich wie bei Galvanometern (pag. 221), bei den meisten lässt man sie voll einwirken. Das Magnetometer enthält ferner:

1) Am oberen oder unteren Ende der Aufhängung einen Torsionskreis, durch welchen man der Aufhängung eine zu messende Torsion ertheilen kann.

2) Eine Vorrichtung zur Ablesung der Stellung des Magneten, d. h. der Winkel, um welche er sich dreht, und zwar entweder: a) eine Kreistheilung



(P. 128.)

oder b) einen sich mitdrehenden Spiegel, der an der Drehaxe oder an einer Endfläche des Magneten befestigt ist¹⁾ und dem man zum Zwecke der Spiegelablesung ein Fernrohr mit Scala gegenüberstellt (pag. 218 u. f.), oder c) eine Linse an dem einen, eine kleine Scala an dem andern Magnetende, die man in ähnlicher Weise benutzt (Collimationsmethode)²⁾.

3) Eine Vorrichtung zur Aenderung des Trägheitsmomentes des hängenden Systems zum Zwecke seiner experimentellen Ermittlung, wozu ein Körper von so einfacher Gestalt, dass sich sein Trägheitsmoment berechnen lässt, dient, z. B. ein an dem Magneten concentrisch angebrachter Ring oder besser zwei zu beiden Seiten symmetrisch aufgesetzte cylindrische Gewichte (sie anzuhängen ist wegen ihrer dann auftretenden Eigenschwingungen und Eigendrehungen nicht rathsam).

4) Einen Dämpfer, d. h. eine Vorrichtung, um die Beruhigung des in Schwingungen versetzten Magneten zu beschleunigen; es kann in dieser Hinsicht auf das frühere (pag. 223) verwiesen werden, nur sei bemerkt, dass für sehr feine Messungen der elektrischen, von magnetischen Einflüssen nie ganz freien Dämpfung stets die mechanische vorzuziehen sein wird.

5) Ein Gehäuse aus Holz, Glas oder eisenfreiem Metall, welches, ohne die Beobachtung des Magneten zu hindern, ihn vor Luftströmungen schützt.

6) Eine oder zwei Schienen, welche die magnetische Ost-West- resp. Nord-Süd-Richtung haben, graduirt sind und zur Aufnahme der festen Magnete dienen, deren Wirkung bestimmt oder benutzt werden soll.

Torsionsverhältniss. Bei allen Beobachtungen, die man an dem drehbaren Magneten mit Fadensuspension anstellt, seien es nun Ablenkungen, welche ihm feste Magnete aus der ursprünglichen Lage ertheilen, oder Schwingungen, die er um diese ausführt, summiren sich die Wirkungen des Erdmagnetismus und der Torsion, es ist daher erforderlich, diese beiden Glieder von einander zu trennen. Man kann dies leicht, indem man beachtet, dass das Drehungsmoment der Torsion dem Torsionswinkel, dasjenige des Erdmagnetismus dem Sinus des Abweichungswinkels aus dem magnetischen Meridian, also für kleine Abweichungen dem Abweichungswinkel selbst proportional ist; giebt man also dem Faden eine absichtliche Torsion α und folgt der Magnet dieser Drehung um den Winkel φ , so ist

$$\vartheta = \frac{\varphi}{\alpha - \varphi} \quad (1)$$

das Verhältniss der Drehungsmomente. Man nennt es Torsionsverhältniss. Ist ein Torsionskreis zu willkürlicher Wahl und Ablesung von α nicht vorhanden, so dreht man den Magneten ein Mal um sich herum, und findet dann den dem Werthe $\alpha = 360^\circ$ entsprechenden Werth von φ . In allen Formeln, die auftreten, muss man nun, wenn das Magnetometer Faden-Einrichtung besitzt, statt der einfachen Grösse H das Produkt $H(1 + \vartheta)$ einführen.

¹⁾ Im letzteren Falle gelten jedoch etwas complicirtere Formeln, als sie früher entwickelt worden sind; auch sei noch bemerkt, dass man gut thut, den Spiegel mittelst rückwärts angebrachter Stellschrauben zu reguliren, sodass er vertikal steht, weil man sonst ebenfalls eine Correction an der Rechnung anbringen muss.

²⁾ Näheres über diese Methode, die durch die längliche Gestalt der Magnete nahe gelegt ist, findet man in den Lehrbüchern von LAMONT, MAXWELL u. s. w. Technisch am einfachsten gestaltet sie sich, wenn der Magnetstab hohl ist; man kann dann das eine Ende mit der Linse, das andere mit der Scala (oder Marke, was zuweilen genügt) verschliessen.

GAUSS'sche Methode

zur Bestimmung des Magnetismus M eines Stabes oder der Horizontal-Componente H des Erdmagnetismus¹⁾.

Bringt man in das Magnetometer eine Magnetnadel und lässt man den zu untersuchenden Stab von aussen auf sie einwirken, so findet man aus ihrer Ablenkung das Verhältniss M/H , also, wenn man H kennt, M ; wendet man umgekehrt einen Stab von bekanntem Magnetismus M an, so findet man H . Kennt man weder M noch H , so muss man, um sie zu finden, sich noch eine zweite Gleichung zwischen ihnen verschaffen, und zwar eine solche, welche nicht ebenfalls wieder ihr Verhältniss enthält; man erreicht dies, indem man nunmehr statt der Hilfsnadel den Magnetstab selbst in das Magnetometer bringt und seine Schwingungsdauer beobachtet. Die ganze Untersuchung zerfällt also in Ablenkungsbeobachtungen und Schwingungsbeobachtungen.

1) Ablenkungsbeobachtungen²⁾. Im vorigen Artikel sind die Formeln entwickelt worden, welche für die Wirkung eines festen auf einen drehbaren Magneten unter Mitwirkung des Erdmagnetismus gelten; an sie schliessen sich die hier zu benutzenden Formeln unmittelbar an. Der Einfachheit halber wird man den Magnetstab aus einer der beiden Hauptlagen wirken lassen, d. h. entweder vom magnetischen Osten oder Westen, wobei seine eigene Längsrichtung in diese Richtung zu bringen ist, oder vom magnetischen Norden oder Süden, wobei seine Längsrichtung quer zu stellen ist. Nennt man den Ablenkungswinkel φ , so wird der Ausdruck für $\tan \varphi$ zunächst den Faktor $M/H (1 + \vartheta)$ enthalten, ferner den Faktor $1/r^3$, wo r die Entfernung der Mittelpunkte beider Magnete ist, sodann einen Zahlenfaktor, welcher für die erste Hauptlage $\frac{1}{2}$, für die zweite 1 ist, endlich einen Faktor, welcher die Form

$$1 + \frac{A_1}{r^2} + \frac{A_2}{r^4} + \dots \quad (2)$$

hat, und dessen Coëfficienten von den Längen und Formen der beiden Magnete abhängen. Man wird diese Längen im Vergleich zu r immerhin nicht so klein nehmen können, dass es nicht erforderlich wäre, wenigstens noch das zweite Glied der Reihe zu berücksichtigen, das wird aber auch fast stets ausreichen. Die Grösse A_1 , welche dann noch vorkommt, enthält, wenn es sich um einfache Polpaare (pag. 8) handelt, die Längen L und l dieser beiden, d. h. den Polabstand des einen und des anderen; bei wirklichen Magneten kann man, wenn sie die Gestalt sehr gestreckter Stäbe oder Nadeln haben, dieselbe Formel für A_1 benutzen, nur bedeuten dann L und l nicht mehr die Längen, sondern die nicht unwesentlich kleineren Polabstände (pag. 44); kennt man diese oder begnügt man sich damit, sie rund zu $\frac{5}{8}$ der Längen anzunehmen (s. w. u.), so kann man für die beiden Hauptlagen

$$A_1 = \frac{1}{2}L^2 - \frac{3}{4}l^2 \quad \text{resp.} \quad A_1 = -\frac{3}{8}L^2 + \frac{3}{2}l^2 \quad (3)$$

setzen und findet dann unmittelbar

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2}(1 + \vartheta) \frac{r^3 \tan \varphi}{1 + \frac{A_1}{r^2}} \quad (4)$$

(resp. ohne den Faktor $\frac{1}{2}$ in der 2. Hauptlage).

¹⁾ C. F. GAUSS, Intensitas vis magneticae etc. Gött. Abh. Bd. 8. 1832. POGG. Ann. Bd. 27, pag. 241 u. 591. Res. a. d. Beob. d. Magn. Vereins, Bd. 1. 1837. Ges. Werke, Bd. 5.

²⁾ HANSTEEN scheint der erste gewesen zu sein, welcher Ablenkungsbeobachtungen in wissenschaftliche Form brachte; die folgende Form rührt aber erst von GAUSS her.

Bei nicht sehr gestreckten Magnetstäben wird jedoch das Correctionsglied A_1 auf diese Weise erheblich fehlerhaft, man müsste die Vertheilung des Magnetismus wirklich in Betracht ziehen, und es ist daher weitaus vorzuziehen, jenes Correctionsglied, statt es zu berechnen, zu eliminiren, was man erreicht, wenn man den Magnetstab aus zwei verschiedenen Entfernungen wirken lässt und beachtet, dass A_1 in beiden Fällen denselben Werth besitzt. Man hat alsdann nämlich z. B. für die erste Hauptlage

$$tg \varphi_1 = \frac{2}{r_1^3} \frac{M}{H(1+\vartheta)} \left(1 + \frac{A_1}{r_1^2}\right) \quad tg \varphi_2 = \frac{2}{r_2^3} \frac{M}{H(1+\vartheta)} \left(1 + \frac{A_1}{r_2^2}\right), \quad (5)$$

woraus durch Elimination von A_1

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2}(1+\vartheta) \frac{r_1^5 tg \varphi_1 - r_2^5 tg \varphi_2}{r_1^2 - r_2^2} \quad (6)$$

resultirt (bei Spitzen-Einrichtung ist $\vartheta = 0$ zu setzen); hiermit ist das Verhältniss von $M:H$ gefunden. Für die 2. Hauptlage fällt der Faktor $\frac{1}{2}$ fort.

Zur Ausführung dieser Versuche ist noch eine Reihe nicht unwichtiger Bemerkungen zu machen: a) Zunächst ist die zur Auflage des ablenkenden Magnetstabs dienende Schiene, falls sie nicht ein- für allemal in der magnetischen Ost-West- resp. Nord-Süd-Linie festgelegt ist, möglichst exakt in diese zu bringen, was mit Hilfe einer Magnetnadel unter Beobachtung der nöthigen Vorsichtsmaassregeln (s. w. u.) geschieht. b) Was ferner die Wahl der Magnetnadel und des ablenkenden Magneten (falls dieser nicht gegeben ist) betrifft, so hat sich darin ein Wandel vollzogen, insofern GAUSS und seine Nachfolger grosse und schwere Magnete benutzten, in neuerer Zeit dagegen die Anwendung kleiner und leichter Magnete in den Vordergrund getreten ist, was besonders für Observatorien den Vortheil mit sich bringt, dass die störenden Fernwirkungen verschiedener magnetischer Apparate weit schwächer ausfallen. Der ablenkende Magnet erhält stets Stabform, der schwingende statt der gewöhnlichen Stab- oder Nadelform zuweilen auch Ring- oder Kreisform, in welch' letzterem Falle er zugleich als Ablesungsspiegel eingerichtet werden kann. c) Alsdann sind die beiden Abstände r_1 und r_2 passend zu wählen, also erstens so klein, dass die Ablenkungen hinreichend gross werden, zweitens so gross, dass die oben gemachten Vernachlässigungen erlaubt sind (die kleinere Entfernung, als welche r_2 gelten möge, muss für mässige Genauigkeit mindestens das 6fache, für grössere mindestens das 8- bis 10fache der Länge des längeren der beiden Magnetkörper betragen), endlich drittens derart, dass r_1^2 etwa doppelt so gross ist wie r_2^2 , die Entfernungen sich also wie 3:2 bis 4:3 verhalten, weil dann, wie die Gestalt der obigen Formel lehrt, der Einfluss von Beobachtungsfehlern am kleinsten wird. Die auf diese Weise gewählten Entfernungen sind von der Mitte des festen Magneten bis zur Drehungsaxe des beweglichen zu messen, eine Aufgabe, die erspart wird, wenn die Schienen mit dem Magnetometer fest verbunden, graduirt und der der Drehaxe entsprechende Punkt dieser Graduierung genau bekannt ist, sodass man nur nöthig hat, ihn von dem der Mitte des ablenkenden Magneten entsprechenden Punkte abzuziehen, wobei letzterer meist nicht direkt ablesbar, sondern als Mittel aus den, den beiden Enden des Magneten (oder seines Trägers) entsprechenden Punkten zu berechnen sein wird. d) Was ferner die Ablenkungen betrifft, so muss man, um die geometrischen und magnetischen Asymmetrien, die stets noch, wenn auch in geringem Grade, vorhanden sind, unschädlich zu machen, aus jeder der beiden Entfernungen 4 Mal beobachten, nämlich mit ostwärts und mit westwärts (resp. in der zweiten Hauptlage nordwärts und südwärts) liegendem

die Ermittlung von H , sodass der Stab, dessen Magnetismus M ist, nur ein Hilfsmittel der Beobachtung ist, so kann man die Untersuchung wesentlich vereinfachen, indem man bei jeder neuen Bestimmung von H wieder denselben Stab benutzt; man braucht dann nämlich nur ein einziges Mal mit beiden Entfernungen zu arbeiten, findet hieraus den ein für allemal gültigen Werth

$$A_1 = r_1^2 r_2^2 \frac{r_2^3 \operatorname{tg} \varphi_2 - r_1^3 \operatorname{tg} \varphi_1}{r_1^5 \operatorname{tg} \varphi_1 - r_2^5 \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (7)$$

und kommt in allen späteren Fällen, indem man diesen Werth A_1 in die Formel (4) einsetzt, mit der Messung der Ablenkung aus einer einzigen Entfernung aus. Dieselbe Vereinfachung darf man sich auch gestatten, wenn es sich um wiederholte Bestimmungen des Magnetismus M eines und desselben Stabes handelt, wobei man allerdings voraussetzt, dass trotz der in den verschiedenen Fällen verschiedenen Grösse von M die Vertheilung dieses Magnetismus in dem Stabe eine ähnliche sei.

Für Fälle, in denen die GAUSS'sche Annäherung nicht genügt, in denen man also noch aus einer dritten Entfernung beobachten müsste, hat neuerdings F. KOHLRAUSCH¹⁾ Formeln aufgestellt, welche die dritte Beobachtung überflüssig machen, die GAUSS'schen Formeln aber trotzdem an Genauigkeit nicht unwesentlich übertreffen. Sie lauten, von der Torsion abgesehen (für kleine Nadel):

$$\begin{array}{ll} \text{Erste Hauptlage:} & \text{Zweite Hauptlage:} \\ \frac{M}{H} = \frac{1}{2} \left[\frac{r_1^2 - r_2^2}{\sqrt{\frac{r_1}{\operatorname{tg} \varphi_1}} - \sqrt{\frac{r_2}{\operatorname{tg} \varphi_2}}} \right]^2 & \frac{M}{H} = \left[\frac{r_1^2 - r_2^2}{\operatorname{tg} \varphi_1^{-2/3} - \operatorname{tg} \varphi_2^{-2/3}} \right]^{3/2} \end{array}$$

oder, wenn man Polabstände L und L' von Stab und Nadel ein für alle Mal ermittelt und dann stets nur aus einer Entfernung beobachtet:

Erste Hauptlage:

$$\begin{aligned} L^2 - \frac{3}{2} L'^2 &= 4 \frac{\sqrt{r_1^3 \operatorname{tg} \varphi_1} - \sqrt{r_2^3 \operatorname{tg} \varphi_2}}{\sqrt{(\operatorname{tg} \varphi_1)/r_1} - \sqrt{(\operatorname{tg} \varphi_2)/r_2}} \\ \frac{M}{H} &= \frac{1}{2} r^3 \operatorname{tg} \varphi \left[1 - \frac{1}{4} \frac{L^2 - \frac{3}{2} L'^2}{r^2} \right]^2. \end{aligned}$$

Zweite Hauptlage:

$$\begin{aligned} L^2 - 4 L'^2 &= 4 \frac{r_1^2 \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3} - r_2^2 \operatorname{tg} \varphi_2^{2/3}}{\operatorname{tg} \varphi_2^{2/3} - \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3}} \\ \frac{M}{H} &= r^3 \operatorname{tg} \varphi \left[1 + \frac{1}{4} \frac{L^2 - 4 L'^2}{r^2} \right]^{3/2}. \end{aligned}$$

Der skizzirten, weitaus verbreitetsten »Methode der Tangenten« steht die von LAMONT²⁾ herrührende und zuweilen angewandte »Methode der Sinus« gegenüber. Hier ist der ablenkende Magnet nicht im magnetischen Osten oder Westen (resp. Norden oder Süden) der Nadel aufgestellt, vielmehr ist die Schiene, auf welche er der Länge nach gelegt wird, um die Drehungsaxe der Nadel mit drehbar, und man dreht sie so lange, bis sie, also auch die Längsaxe des Stabes, (resp. in dem zweiten Falle die darauf senkrechte Linie) senkrecht steht auf derjenigen Ruhelage der Nadel, welche sie unter dem Zusammenwirken des Stab- und des Erdmagnetismus annimmt. Der Stab wirkt alsdann mit voller Kraft, der

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 31, pag. 609. 1887.

²⁾ LAMONT, Handb. d. Magn. Lpz. 1867, pag. 279, ferner LAMONT, Handb. d. Erdmagn. Berl. 1849.

Erdmagnetismus mit der durch den Sinus des Ablenkungswinkels bestimmten Componente, dieser Sinus giebt also das Verhältniss beider Kräfte, er tritt mithin an die Stelle des Tangens bei der vorigen Methode. Sonst bleiben die Formeln dieselben, nur braucht, wie man leicht einsieht, die Torsion nicht berücksichtigt zu werden, und die Ermittlung des Korrektionsgliedes A_1 lässt sich, wenn sie erforderlich wird, exakter durchführen, weil die Magnete stets senkrecht zu einander bleiben. Natürlich muss bei dieser Methode die von dem Stabe ausgehende Kraft kleiner als die von der Erde ausgehende sein, d. h. man muss, wenn H bestimmt werden soll, einen nicht zu starken Stab benutzen und andererseits, wenn der Magnetismus eines gegebenen Stabes bestimmt werden soll, diesen in genügend grosser Entfernung aufstellen.

2) Schwingsbeobachtungen¹⁾. Um sie anzustellen, bringt man statt der Nadel resp. des Hilfsmagneten den zu untersuchenden resp. als Vergleichsobjekt für den Erdmagnetismus dienenden Magneten, der bisher ablenkend wirkte, in das Magnetometer oder stellt ihn in anderer Weise so auf, dass man seine Schwingungsdauer t beobachten kann. Das Grundgesetz der magnetischen Fernwirkung ergibt dann, dass das Drehungsmoment resp. die Directionskraft, welche den Stab in den magnetischen Meridian, wenn er aus diesem abgelenkt ist, zurückführt, gleich dem Produkte von M und H ist. Andererseits ist das Quadrat der Schwingungsdauer hier wie beim Pendel gleich dem Verhältniss des Trägheitsmoments zum Drehungsmoment, wozu noch der Faktor π^2 kommt; es ergibt sich also, wenn K das Trägheitsmoments des schwingenden Systems ist und die Mitwirkung der Torsion beachtet wird (s. ob.):

$$MH = \frac{\pi^2 K}{(1 + \vartheta)t^2}. \quad (8)$$

Es ist zu bemerken, dass t hier die einfache Zeit zwischen zwei Umkehrpunkten bedeutet (andernfalls müsste im Zähler der Faktor 4 hinzugefügt werden), und dass die Grösse ϑ hier nicht identisch ist mit der bei den Ablenkungsformeln auftretenden, weil das sich tordirende System in beiden Fällen verschiedene Magnete enthält. Ueber die Ermittlung von K durch Hinzufügung von Hilfskörpern, deren regelmässige Gestalt ihr Trägheitsmoment um die eigene Axe und folglich auch dasjenige k um die Axe des Magnetometers leicht zu berechnen gestattet, sowie über die dabei giltigen Formeln findet man näheres in Bd. I, pag. 81 und pag. 79; für Cylinder von der Höhe h , dem Radius ρ und der Masse m , die man beiderseits symmetrisch so aufsetzt, dass ihre Axe von der Drehaxe den Abstand d hat, wird

$$k = 2m(d^2 + \frac{1}{2}r^2) \quad (9)$$

und es ist alsdann, wenn noch die Schwingungsdauer t_1 des so belasteten Systems beobachtet wird:

$$K = k \frac{t^2}{t_1^2 - t^2}. \quad (10)$$

Ueber die Ermittlung der Schwingungsdauer ist auf das Frühere (Bd. I, pag. 84) zu verweisen; es möge hinzugefügt werden, dass HANSEMANN²⁾ eine photographische Methode zu ihrer Bestimmung angegeben hat, welche zwar etwas umständliche Einrichtungen erfordert, dafür aber in kürzerer Zeit genaue Werthe liefert.

¹⁾ Aus der Geschichte der wissenschaftlichen Gestaltung der Schwingsbeobachtungen sind besonders LAMBERT, v. HUMBOLDT, COULOMB, HANSTEEN und schliesslich GAUSS zu nennen.

²⁾ HANSEMANN, WIED. Ann. 28, pag. 245. 1886.

3) **Schlussresultat.** Für die Combination der Ergebnisse beider Beobachtungen zur Gewinnung des Endergebnisses sind noch zwei Bemerkungen von Wichtigkeit, die sich beide auf die Frage der Vergleichbarkeit der beiden Messungsreihen beziehen. Wie nämlich schon bei den Ablenkungsbeobachtungen, so muss auch, und zwar in erhöhtem Maasse, während der Dauer der Gesamtversuche jede der beiden Grössen M und H als constant angesehen werden, wenn das Resultat exakt ausfallen soll. In Wahrheit ändert sich aber erstens der Erdmagnetismus selbst im Laufe einiger Stunden um merkliche Beträge; soweit diese Aenderungen unregelmässige sind, würden sie sich der Berücksichtigung entziehen, und es dürfen daher derartige Messungen zu Zeiten aussergewöhnlicher magnetischer Erscheinungen nicht ausgeführt werden, ausgenommen wenn die letzteren selbst Gegenstand der Untersuchung sind; regelmässige Aenderungen kann man, da sie ohnehin klein sind, auch ohne ihre Kenntniss dadurch eliminiren, dass man die Schwingungsbeobachtungen vor den Ablenkungsbeobachtungen anstellt und sie nach ihnen wiederholt, wobei man allerdings annehmen muss, dass während dieser Zeit H entweder nur fällt oder nur steigt, was in den frühen Vormittagsstunden und in den späteren Nachmittagsstunden meist der Fall ist. — Der andere Punkt betrifft in gleicher Weise die etwaigen Aenderungen von M während der Versuche; Umstände, welche solche Aenderungen hervorrufen könnten, z. B. Erschütterungen und Temperaturänderungen, sind also zu vermeiden, letztere eventuell durch Bestimmung der »Temperaturcoefficienten« α aus zwei vergleichenden Beobachtungen bei recht verschiedenen Temperaturen zu berücksichtigen, sodass alsdann $M(1 - \alpha dt)$ an die Stelle von M tritt. Insbesondere aber bedingt der Umstand einen Fehler, dass sich der Magnetstab mit seiner Längsaxe bei den Ablenkungsbeobachtungen (gleichviel ob man erste oder zweite Hauptlage anwendet) in Ost-West-Richtung, bei den Schwingungsbeobachtungen dagegen in Nord-Süd-Richtung befindet und dass er folglich wegen des im ersten Falle nicht, wohl aber im zweiten Falle mitwirkenden Magnetismus der Lage (s. ob. pag. 50) bei den Schwingungen einen etwas stärkeren Magnetismus besitzt als bei den Ablenkungen, wodurch der Werth von H zu gross wird. Das exakte Mittel um diesen Fehler zu beseitigen, würde darin bestehen, dass man den Stab bei beiden Beobachtungen in dieselben Verhältnisse bringt, also ihn entweder beide Mal dem Magnetismus der Lage aussetzt oder diesen beide Male ausschliesst. Jeder von diesen Wegen ist theoretisch möglich, wenn er auch praktisch kaum grössere Bedeutung beanspruchen dürfte. Im ersten Falle¹⁾ führt man die Schwingungsbeobachtungen ganz wie bisher aus, die Ablenkungsbeobachtungen dagegen in modificirter Form; geht man nämlich von der ersten Hauptlage aus, wo der Stab der Länge nach auf der Ost-West-Schiene liegt, bringt man ihn nun in die Querlage, sodass er gar nicht auf die Nadel wirkt und verschiebt man ihn nun in der Richtung seiner eigenen Verlängerung, so erhält man wieder eine Wirkung, die man messen und, da der Magnetismus der Lage mitwirkt, exakt mit den Schwingungsbeobachtungen combiniren kann; verschiebt man ihn speciell so lange, bis der Cosinus des Winkels, den die von seiner Mitte zur Nadelmitte gezogene Linie mit seiner Richtung, d. h. mit dem magnetischen Meridian bildet, $\sqrt{\frac{1}{3}}$ ist, so wird, wie sich leicht findet, die von ihm ausgeübte Kraft $\sqrt{2}$ mal so gross wie in der ersten Hauptlage, sodass in den Formeln $M\sqrt{2}$ an die Stelle von M tritt; man wird übrigens gut

¹⁾ MAXWELL, El. u. Mag. 2, pag. 34.

²⁾ JOULE, Proc. Phil. Soc. Manchester, 19. März 1867.

thun, diese Messung nicht direkt für die Hauptformel, sondern nur zur Ermittlung des Magnetismus der Lage im Verhältniss zum eigentlichen Stabmagnetismus μ zu benutzen und in der Hauptformel dann M durch $M(1 + \mu)$ zu ersetzen. Im zweiten Falle führt man nach JOULE²⁾ die Ablenkungsbeobachtungen wie gewöhnlich aus und schliesst den Magnetismus auch bei den Schwingungsbeobachtungen aus, indem man unter dem Magnetstab an derselben Drehungsaxe und in gleicher Richtung mit ihm einen zweiten Stab von möglichst gleich grossem Magnetismus in solcher Entfernung fest mit ihm verbindet, dass die magnetische Inductionswirkung, die er auf den Hauptstab ausübt, diejenige des Erdmagnetismus, also den Magnetismus der Lage gerade aufhebt, eine Entfernung, die man findet, indem man bei entgegengesetzt gerichteten Stäben (der Hilfsstab fest hingelegt gedacht und dem Hauptstab allmählich genähert) die Stelle aufsucht, wo der Hauptstab in die entgegengesetzte Lage umschlägt. — Natürlich kann man die Grösse μ auch anderweitig ermitteln (s. w. u.) und braucht dann weder die Schwingungs- noch die Ablenkungsbeobachtungen zu modificiren. Bei guten Stahlstäben beträgt, wie bemerkt werden möge, μ meist weniger als 1%, der Fehler in H , wie die Endformel zeigt, also weniger als $\frac{1}{2}\%$, wenn man μ ganz unberücksichtigt lässt, und noch weniger, wenn man an H eine Durchschnitts correction von etwa $\frac{1}{4}\%$ vornimmt; bei weniger harten Stäben ist der Einfluss natürlich bedeutender.

Die allgemeine Endformel wird nunmehr, wenn der Werth von M/H in Gleichung (6) mit Q (Quotient), der Werth von MH in Gleichung (8) mit P (Produkt) bezeichnet wird, für den Stabmagnetismus (ohne den der Lage)

$$M = \sqrt{\frac{PQ}{1 + \mu}}, \quad (11)$$

für die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus:

$$H = \sqrt{\frac{P}{(1 + \mu)Q}}. \quad (12)$$

Man könnte schliesslich in diese Formeln die Werthe von P und Q einsetzen, es hat das aber, da eine wesentliche Vereinfachung nicht entsteht, keinen Zweck, man wird vielmehr jene Werthe vorher für sich berechnen.

Ersetzung der Ablenkungs- durch Schwingungsbeobachtungen.

Statt das Verhältniss M/H durch die Ablenkung zu bestimmen, welche ein Hilfsstab durch den Hauptstab erfährt, kann man es nach einem schon von POISSON¹⁾ ausgegangenen und neuerdings von PFANNSTIEL²⁾ und HÄBLER³⁾ näher untersuchten Vorschlage auch aus der Dauer der Schwingungen ableiten, welche ein Hilfsstab, in das Magnetometer gebracht oder sonst drehbar aufgestellt, unter gleichzeitiger Einwirkung des Erdmagnetismus und des Hauptstabes ausführt. Den Hauptstab muss man hier, statt in die erste oder zweite Hauptlage, d. h. in die Lagen stärkster ablenkender Wirkung, gerade umgekehrt in diejenigen Lagen bringen, in welchen er gar nicht ablenkend, dafür aber am stärksten richtend, d. h. den Erdmagnetismus unterstützend (oder bei entgegengesetzter Lage schwächend) wirkt; mit anderen Worten, man muss seine Längsrichtung in den magnetischen Meridian bringen, ihn also bei Anwendung der Ost-West-Schiene

1) POISSON, *Connaissance des temps* 1828, pag. 113. Vergl. auch LAMONT, *Abh. d. Münch. Akad.* 5, pag. 74.

2) PFANNSTIEL, *Zeitschr. f. Math. u. Phys.* 25, pag. 271. 1880.

3) HÄBLER, *Z. Best. d. Int. d. Erdmagn. In.-Diss.* Jena 1884.

quer, bei Anwendung der Nord-Süd-Schiene der Länge nach auf diese stellen; natürlich braucht man ebenso wie bei der GAUSS'schen Methode nur eine der beiden Schienen je nach Wahl zu verwenden. Für grössere Genauigkeit muss man auch hier das zweite von der Vertheilung des Magnetismus im Stabe herführende Glied berücksichtigen und zu diesem Zwecke aus zwei verschiedenen Entfernungen r_1 und r_2 beobachten; da man ferner in jeder Entfernung gerade wie bei GAUSS den Hauptstab zu beiden Seiten des Hilfsstabs und auf jeder Seite in den beiden entgegengesetzten Lagen aufstellt, und endlich auch die Schwingungsdauer des Hilfsstabs unter alleiniger Wirkung des Erdmagnetismus, und zwar behufs Elimination zeitlicher Veränderungen vor und nach den übrigen Beobachtungen ermitteln muss, so besteht dieser Theil der Messung aus 10 Schwingungsbeobachtungen; dazu kommen dann noch die Schwingungsbeobachtung des Hauptstabs zu Anfang und zu Ende der Beobachtungen und die Schwingungsbeobachtung für den belasteten Hauptstab (falls das Trägheitsmoment des schwingenden Systems nicht bekannt ist), sodass sich im Ganzen 13 Schwingungsbeobachtungen ergeben. Die Formel für MH ist die frühere, die Formel für M/H lautet

$$\frac{M}{H} = f(1 + \vartheta) t_0^2 \frac{Dr_1^5 - \Delta r_2^5}{r_1^2 - r_2^2},$$

wo der Faktor f gleich -1 oder $+\frac{1}{2}$ ist, je nachdem man die ost-westliche oder die nord-südliche Schiene benutzt und wo, wenn $t_1 t_2 t_3 t_4$ die Schwingungsdauern bei der Entfernung r_1 und $\tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4$ diejenigen bei der Entfernung r_2 sind,

$$D = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{t_1^2} - \frac{1}{t_2^2} + \frac{1}{t_3^2} - \frac{1}{t_4^2} \right) \quad \Delta = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\tau_1^2} - \frac{1}{\tau_2^2} + \frac{1}{\tau_3^2} - \frac{1}{\tau_4^2} \right)$$

ist. Bei einiger Uebung wird die Untersuchung nicht mehr Zeit beanspruchen als die GAUSS'sche. Andererseits aber hat die Methode der Schwingungen den Vorzug, dass bei beiden Theilen der Untersuchung die Axe des Hauptstabes nord-südlich gerichtet ist, und dass auch die sonstigen Inductionswirkungen, weil sie nahe proportional mit den Hauptwirkungen sind, auf das Endergebniss keinen Einfluss haben; man erhält also auch ohne Kenntniss der Correctionsgrösse μ (pag. 69) das wahre H und dasjenige M , welches dem nord-südlich gerichteten Magnetstabe entspricht; um das M des ost-westlich liegenden Stabes zu finden, muss man freilich auch hier μ kennen.

Ersetzung der Schwingungs- durch Ablenkungsbeobachtungen. Torsionsmagnetometer. Statt das Produkt MH durch Schwingungen zu ermitteln, kann man es auch aus einer Ablenkung ableiten. Giebt man nämlich dem Faden des Magnetometers, das man in diesem Falle Torsionsmagnetometer (oder magnetische Torsionswaage) nennen kann, mit Hilfe des Torsionskreises eine Torsion α , und folgt der Magnet dieser Drehung um den Winkel φ , so ist, wenn τ das Torsionsmoment für den Torsionswinkel 1 ist, das Torsionsmoment $\tau(\alpha - \varphi)$, das magnetische Drehungsmoment $MH \sin \varphi$, also

$$MH = \tau \frac{\alpha - \varphi}{\sin \varphi}. \quad (13)$$

Zweckmässig ist es, die Torsion so lange (d. h. auf einige ganze Umdrehungen) zu steigern, bis der Magnet fast senkrecht gegen den Meridian steht; setzt man alsdann $\pi/2 - \varphi = \varphi'$, so kann man φ' durch Spiegelablesung sehr genau ermitteln und hat alsdann:

$$MH = \frac{\tau \left(\alpha + \varphi' - \frac{\pi}{2} \right)}{1 - \frac{\varphi'^2}{2}}. \quad (13a)$$

Die Grösse τ findet sich aus dem Trägheitsmoment K und der Dauer t einer einfachen Schwingung

$$\tau = \frac{\pi^2 K}{t^2}.$$

Um den Fehler zu vermeiden, der dadurch entsteht, dass der Faden während der Untersuchung eine kleine permanente Torsion erhält, muss man am Schlusse die Stellung des Torsionskreises controlliren und für α den betreffenden mittleren Werth setzen.

Compensationsmethode. Bei den GAUSS'schen Ablenkungsbeobachtungen ist die Anwendung zweier verschiedener Entfernungen erforderlich, um das zweite Glied der die Wirkung des Magneten darstellenden Reihe eliminiren zu können. W. WEBER hat nun den sinnreichen Gedanken gehabt, eine Einrichtung zu treffen, bei welcher dieses Glied überhaupt fortfällt, d. h. auch schon bei der Wirkung aus einer einzigen Entfernung. Es ist dies deshalb erreichbar, weil jenes Glied bei den beiden GAUSS'schen Hauptlagen entgegengesetzte Zeichen besitzt (s. ob. pag. 66); combinirt man also zwei oder, der Symmetrie halber, vier Magnetstäbe von geeigneter Grösse und Lage, so wird man die Wirkung durch das Hauptglied allein ausdrücken dürfen. Demgemäss besteht nach F. KOHLRAUSCH¹⁾ das »compensirte Magnetometer«, das allerdings nur zur Bestimmung von H (nicht zu der von M) brauchbar ist, aus einem gewöhnlichen Magnetometer mit kurzer Nadel und einem daran zu befestigenden Holzrahmen mit 4 Magneten, von denen die beiden kleineren, von den doppelten Dimensionen der Nadel, östlich und westlich, die beiden anderen, in allen Dimensionen um die Hälfte grösseren, nördlich und südlich zu liegen kommen, und zwar derart, dass die Entfernungen R der Mitten der grösseren Stäbe von der Nadelmittle das 1.204fache der betreffenden Grösse r für die kleineren Stäbe ausmacht, und dass die Pole der kleineren Magnete entgegengesetzt gerichtet sind wie die der grösseren. Beobachtet man in den beiden Lagen, welche man erhält, wenn man den Rahmen in seiner Ebene um 180° dreht und nimmt man aus beiden Ablenkungen das Mittel, so erhält man einen von den Asymmetrien der Lage unabhängigen Werth; um auch eine etwaige Asymmetrie der Magnetstäbe zu eliminiren, kehrt man sie, jeden für sich, um und beobachtet wieder. Ausser der so ermittelten Ablenkung φ muss man nun noch die Schwingungsdauer t des Rahmens mit den Magneten in ihrer obigen Lage, die Schwingungsdauer τ desselben Rahmens, nachdem die kleineren Magnete umgedreht worden sind, das Torsionsverhältniss ϑ im letzteren Falle und das Trägheitsmoment K bestimmen und hat dann

$$H = \frac{\pi}{t\tau} \sqrt{\frac{K}{lg\varphi} \left[\frac{t^2 - \tau^2}{r^3} + \frac{t^2(1 - 2\vartheta) + \tau^2}{2R^3} \right]}. \quad (14)$$

Ueber die Genauigkeit des in Rede stehenden Apparates gehen die Ansichten einigermaassen auseinander; doch sind die Einwände, die z. B. HELLMANN²⁾ erhoben hat, von STROUHAL³⁾ in bindender Weise zurückgewiesen worden.

Eine andere Art der Compensation hat TÖPLER⁴⁾ vorgeschlagen; sie besteht in der schon im vorigen Artikel genannten kreuzförmigen Verbindung zweier Magnetstäbe (Fig. 131 und 132). Der Winkel 2α , welchen die beiden Stäbe mit

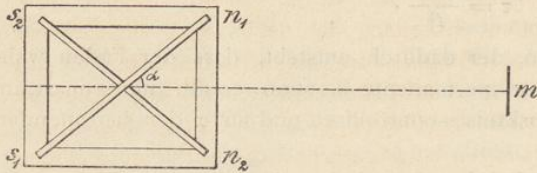
¹⁾ F. KOHLRAUSCH, Gött. Nachr. 1871, pag. 50; POGG. Ann. 142, pag. 547. — Vergl. auch die Figur weiter unten.

²⁾ HELLMANN, Rep. d. Phys. 16, pag. 180. 1880.

³⁾ STROUHAL, Rep. d. Phys. 17, pag. 345. 1881.

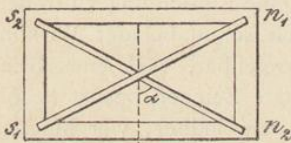
⁴⁾ TÖPLER, Berl. Ber. 1883, pag. 925.

einander bilden müssen, damit in der Richtung der Mittellinie dieses Winkels Compensation des zweiten Gliedes der Fernwirkung eintrete, beträgt in der



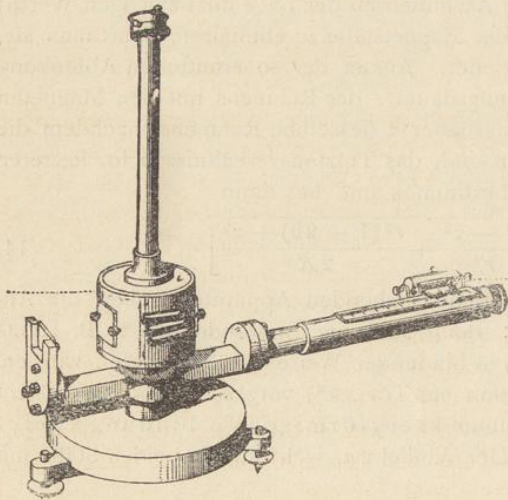
Erste Hauptlage.

(P. 131.)



Zweite Hauptlage.

(P. 132.)



(P. 133.)

ersten Hauptlage entsprechenden Lage $78^{\circ} 27' 48''$, in der zweiten $126^{\circ} 52' 12''$, in jener Lage müssen gleichnamige, in dieser ungleichnamige Pole der Nadel zugekehrt sein. Im Uebrigen sei auf Fig. 131 und 132 verwiesen und nur noch bemerkt, dass die Anwendung der

artiger Kreuzmagnete auch noch den weiteren Vortheil gewährt, dass der Magnetismus der Lage ohne Einfluss bleibt.

Magnetometer mit constanten Ablenkungswinkeln. Statt bei der GAUSS'schen Methode die Ablenkungswinkel zu bestimmen, welche bei willkürlich gewählten Entfernungen des ablenkenden Magneten stattfinden, kann man dem Vorschlage von EDELMANN¹⁾ und zwar unter Umständen mit Vortheil, die Aufgabe umkehren und diejenigen beiden Entfernungen messen, durch welche zwei willkürliche aber ein für allemal fest gewählte Ablenkungswinkel erzeugt werden; die Winkelmessung, also event. die Skalenablesung, fällt dann ganz fort, man braucht eben nur zu constatiren, dass die Ablenkungen die beiden gewählten Werthe haben. Zu diesem Zwecke enthält das Instrument (Fig. 133) ausser dem sich mit drehenden Spiegel noch drei

feste, nur auf der unteren Hälfte belegte, welche die beiden gewählten Winkel mit einander einschliessen und in leicht ersichtlicher Weise erkennen lassen, wann der drehbare Spiegel mit einem von ihnen parallel ist.

Bifilarmethoden.

Bifilar-Magnetometer VON GAUSS.

Statt an einem Faden kann man schwere Körper überhaupt und insbesondere Magnete auch an zwei parallelen Fäden aufhängen²⁾; es wirken dann von mechanischen Kräften die Schwere,

¹⁾ EDELMANN, Neuere Apparate etc. Stuttg. 1882, Bd. I, pag. 8.

²⁾ Die bifilare Aufhängung ist zu wissenschaftlichen Zwecken überhaupt zuerst von SNOW HARRIS (Rep. Brit. Ass. 1832, pag. 563), zu magnetischen Messungen von GAUSS (Res. d. magn. Ver. 1837, pag. 1) benutzt worden.

da der Körper bei jeder Drehung gehoben oder gesenkt wird, und ausserdem die Torsions- und Biegunselasticität der Drähte; da letztere meist klein gegen die erste sind, wird sich ein unmagnetischer Körper mit seiner Längsrichtung nahe in die Ebene der Aufhängefäden einstellen. Ist der Körper dagegen ein Magnetstab, und weicht die Ebene der Fäden vom magnetischen Meridian ab, so wird die Gleichgewichtslage von der natürlichen abweichen, und dasselbe wird eintreten, wenn ausser dem Erdmagnetismus noch ein fester Magnet auf den aufgehängten einwirkt. Am einfachsten ist es natürlich, die Aufhängeebene magnetisch ost-westlich zu richten, es ist dann, wenn die Ablenkung α erfolgt und D die mechanische Directionskraft ist, $MH \cos \alpha = D \sin \alpha$, also

$$MH = D \tan \alpha. \quad (15)$$

Auch hier muss man die Beobachtung von α wiederholen, nachdem man den Stab in umgekehrter Lage in das Schiffchen der Bifilar-Aufhängung gelegt hat, und aus beiden Werthen das Mittel nehmen. Diese Methode entspricht der Torsionsmethode bei der unifilaren Aufhängung (pag. 70); wie dort könnte man auch hier statt dessen die Schwingungs-Methode zur Ermittlung von MH anwenden, wobei man dann natürlich die Aufhängeebene in den magnetischen Meridian bringen müsste; während aber bei der unifilaren Aufhängung die Schwingungsmethode weitaus die gebräuchlichste ist, findet sie bei der bifilaren kaum Anwendung, vermuthlich weil D einen grösseren Einfluss auf die Schwingungsdauer hat, als MH , die Bestimmung des letzteren also nicht sonderlich genau ausfallen wird. — Die Grösse D setzt sich nach der exakten Berechnung von F. KOHLRAUSCH¹⁾ aus den drei der Schwere, Biegungs- und Torsionselasticität entsprechenden Gliedern zusammen, von denen jedoch das zweite mit dem ersten vereinigt werden kann, da es dieselbe Wirkung hat, als ob die mittlere Länge der Aufhängefäden l um den Betrag $\rho^2 \sqrt{2\pi E/m}$ verringert würde, wo ρ der Radius, E der Elasticitätsmodul der Fäden und m die von den Fäden getragene Masse, einschliesslich der halben Masse der Fäden selbst, bedeutet. Ist noch e der oben und unten gleich angenommene Abstand der beiden Fäden und g die Schwere, so ist

$$D = gm \frac{e^2}{4(l - \rho^2 \sqrt{2\pi E/m})} + \frac{2\pi}{5} \frac{\rho^4 E g}{l - \rho^2 \sqrt{2\pi E/m}}. \quad (15a)$$

Von den hierin vorkommenden Grössen sind einige leicht genau messbar, bei anderen genügt es, da sie nur die Rolle von Correctionsgrössen spielen, ungefähre Werthe zu benutzen. Von entscheidender Wichtigkeit ist nur die Messung von e , welche, zumal da der Abstand der Fäden meist klein genommen wird, mit unvermeidlichen Fehlern behaftet zu sein scheint. Dieser Umstand hat viele Physiker abgehalten, die bifilare Methode zu benutzen oder zu empfehlen; indessen hat F. KOHLRAUSCH gezeigt, dass, besonders wenn man e so gross wählt, wie die Umstände es zulassen, jenes Bedenken unbegründet ist, und seitdem sowie durch die Bemühungen von WILD (s. w. u.) u. A. ist die bifilare Aufhängung wieder in verdiente Aufnahme gekommen.

Die Bestimmung von M/H , welche noch übrig bleibt, kann ganz auf die frühere Weise geschehen; benutzt man dabei eine kurze Magnetnadel, stellt den vorhin bifilar aufgehängten Magneten in grosser Entfernung in einer Hauptlage, z. B. der zweiten, auf und nennt L den Polabstand im Magneten, wofür es wieder genügt, $\frac{2}{3}$ seiner Länge zu setzen, l die entsprechende Grösse für die Nadel²⁾,

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 17, pag. 737. 1882.

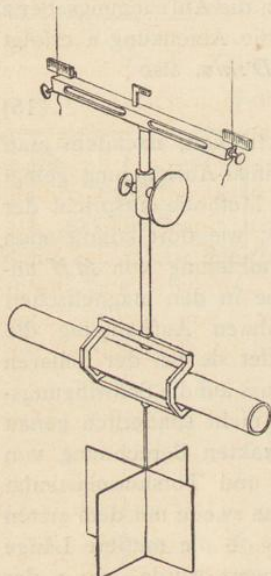
²⁾ Besteht die Nadel in einem kreisförmigen Spiegel, so ist l etwa $\frac{2}{3}$ des Durchmessers.

so kann man sich mit der Ablenkung φ aus einer einzigen Entfernung r begnügen und erhält (vergl. Formeln 3 und 4)

$$\frac{M}{H} = (1 + \vartheta) \frac{r^3}{1 - \frac{3}{8} \frac{L^2}{r^2} + \frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2}} \tan \varphi, \quad (16)$$

wo man das Glied mit l häufig wird vernachlässigen können. Hat man eine genügend grosse Entfernung r nicht zur Verfügung, so muss man für jeden Stab, dessen M ermittelt werden soll, aus zwei Entfernungen beobachten, braucht dagegen, wenn es sich um die Bestimmung von H handelt und stets derselbe Stab benützt wird, nur ein für allemal nach Gleichung (7) die Correction zu bestimmen. Die Multiplikation der Gleichungen (15) und (16) oder der an die Stelle der letzteren tretenden liefert schliesslich M , ihre Division H .

In Fig. 134 ist der Haupttheil des KOHLRAUSCH'schen Magnetometers¹⁾, nämlich der Magnet mit Suspension und mechanischem Dämpfer, dargestellt.



(P. 134.)

Gleichzeitige Ausführung beider Messungen. Die skizzierte Methode leidet an dem Uebelstande, dass die beiden Messungen, deren Combination das Resultat liefert, nach einander ausgeführt werden, dass in der Zwischenzeit M und H sich ändern (die Verschiedenheit der Lage ist bei der bifilaren Methode wenigstens grossentheils vermieden) und dass die betreffenden Correctionen nur mühsam ermittelt werden können. Dies ändert sich mit einem Schlage, wenn man beide Messungen gleichzeitig ausführt, d. h. den Magneten,

während er bifilar schwingt, auf die Nadel eines nördlich oder südlich aufgestellten Magnetometers ablenkend wirken lässt. Freilich kommt dann sowohl für die Einstellung des Magneten, als auch für die der Nadel noch eine weitere, wenn auch meist kleine Kraft in Betracht, nämlich für den Stab die Einwirkung der Nadel und für die Nadel die wegen der abgelenkten Stellung des Stabes gegen früher veränderte Einwirkung desselben. Nach den Formeln des vorigen Artikels kann man aber diese Ausdrücke leicht bilden, wobei man die Schrägstellung der Nadel in ihrem Einfluss auf die Rückwirkung auf den Magneten meist wird vernachlässigen dürfen. Es genüge, das Endergebniss anzuführen. Bedeutet α den auf irgend eine Weise ohne besondere Genauigkeit zu bestimmenden Magnetismus der Lage im Verhältniss zum Erdmagnetismus, so wird:

$$MH = \frac{D \tan \alpha}{1 + 2 \frac{\alpha}{r^3}}, \quad (17)$$

$$\frac{M}{H} = \frac{(1 + \vartheta) r^3 \tan \varphi}{\left(1 - \frac{3}{8} \frac{L^2}{r^2} + \frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2}\right) (\cos \alpha - 2 \sin \alpha \tan \varphi)}, \quad (18)$$

woraus sich dann sofort die Formeln für M und H selbst ergeben; diejenige für H nimmt nach einiger Vereinfachung die Form an:

$$H^2 = \frac{D}{r^3 (1 + \vartheta)} \left(1 - \frac{3}{8} \frac{L^2}{r^2} + \frac{3}{2} \frac{l^2}{r^2} - 2 \frac{\alpha}{r^3}\right) \frac{\sin \alpha}{\tan \varphi} (1 - 2 \tan \alpha \tan \varphi). \quad (19)$$

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. ANN. 17, pag. 765. 1882.

Bifilar-Methode von WILD¹⁾. In anderer Weise hat WILD, nachdem er ebenfalls eine vervollständigte Theorie der Bifilarsuspension gegeben hatte, diese Aufhängungsweise experimentell verwerthet, wobei sich allerdings, da mehrere verschiedene Magnetstäbe benutzt werden, nur der Werth von H ergibt; das Eigenthümliche der Methode liegt darin, dass sie nur eines einzigen Apparates statt der zwei bei GAUSS und KOHLRAUSCH (Bifilar- und Unifilar-Magnetometer) bedarf; vergleichbar ist sie der oben erwähnten Torsionsmethode. Von den beiden etwas verschiedenen, 1880 resp. 1886 von WILD beschriebenen Verfahrensarten sei hier die letztere als die vermuthlich auch vom Verfasser vorgezogene gewählt. Durch Vergleichung der Lagen, welche die Bifilarebene annimmt, wenn einmal ein Magnet, das andere Mal ein unmagnetischer Stab eingelegt wird, findet man die Meridianrichtung und kann nun die Bifilarebene in diese bringen. Man stellt nun durch Drehung um 90° (mit Hilfe eines Torsionskreises) das oberste Stück der Bifilarebene senkrecht gegen den Meridian, wobei ihr unterstes Stück sammt dem Magneten wegen der Richtkraft des letzteren davon abweichen wird; man dreht endlich oben noch weiter um einen Winkel α_1 , bis der Magnet selbst gerade senkrecht zum Meridian steht. Führt man diese Bestimmung bei zwei gleich schweren Stäben von verschiedenen magnetischen Momenten M_1 und M_2 aus, so erhält man bei der früheren Bedeutung von D die Gleichungen

$$M_1 H = D \sin \alpha_1, \quad M_2 H = D \sin \alpha_2.$$

Nun nehme man einen dritten Stab von wenigstens annähernd gleichem Gewicht, so dass die Directionskraft D' nicht erheblich von D abweicht, und ermittle die drei Winkel $\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, von denen α_3 genau den obigen Winkeln α_1 und α_2 entspricht, α_4 und α_5 dagegen für den Fall gelten, wenn die beiden ersten Magnetstäbe auf eine im magnetischen Meridian liegende Schiene der Länge nach, der eine nördlich, der andere südlich vom Magnetometer, in beiderseits gleicher Entfernung r aufgelegt werden, und zwar α_4 , wenn ihre Nordpole, α_5 , wenn ihre Südpole nach Norden zeigen. Es gelten dann, wenn M_3 der Magnetismus des dritten, bei diesem Versuche hängenden Stabes ist, die drei Gleichungen

$$M_3 H = D' \sin \alpha_3, \\ M_3 H + 2 M_3 \frac{M_1 + M_2}{r^3} = D' \sin \alpha_4, \quad M_3 H - 2 M_3 \frac{M_1 + M_2}{r^3} = D' \sin \alpha_5.$$

Subtrahirt man die beiden letzten Gleichungen von einander und dividirt man dann in die vorhergehende hinein, so erhält man das Verhältniss von H und $(M_1 + M_2)$; addirt man andererseits die beiden ersten Gleichungen, so erhält man das Produkt derselben beiden Grössen; durch Multiplikation findet man also schliesslich:

$$H^2 = \frac{4 D}{r^3} \frac{\sin \alpha_3 (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)}{\sin \alpha_4 - \sin \alpha_5}. \quad (20)$$

Hierzu kommen nun noch Correctionen wegen des Magnetismus der Lage, wegen der Temperatur, wegen der Vertheilung des Magnetismus in den Stäben u. s. w., auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Bifilargalvanische Methode. Handelt es sich lediglich um die Bestimmung von H (nicht von M), so kann man das GAUSS'sche Magnetometer auch durch ein Galvanometer ersetzen, wobei dann genau die umgekehrten

¹⁾ WILD, Bull. Ac. St. Pétersbourg 1880, pag. 174; Rep. f. Meteor. Bd. 8; Mém. Ac. St. Pétersbourg, Bd. 34. 1886.

Formeln Anwendung finden, wie bei der Strommessung (vergl. Art. Strommessung). Beispielsweise hat TANAKADATÉ¹⁾ dahin gehende Vorschläge entwickelt.

Von besonderer Bedeutung aber ist die analoge Ersetzung des Bifilarmagnetometers durch das Bifilargalvanometer geworden, d. h. des Stabes durch eine bifilarhängende Spule, deren Ebene sich bei entsprechender Lage der Bifilar-Ebene nordstüdlich einstellt, aus dieser Lage jedoch abgelenkt wird, sobald ein Strom hindurch geschickt wird. Dieser Gedanke rührt von W. WEBER her, er ist dann mehrfach (z. B. in Breslau durch KIRCHHOFF) verwirklicht²⁾ und von F. KOHLRAUSCH ausführlich beschrieben worden. Der Vortheil gegenüber der bifilarmagnetischen Methode besteht im Wesentlichen darin, dass man die Vertheilung der elektrischen Ströme in der Spule und damit ihre magnetische Wirkung (s. Art. Elektromagnetismus) kennt und somit nicht nöthig hat, aus zwei verschiedenen Entfernungen zu beobachten.

Neuere Form der Methode. Merkwürdiger Weise ist von den beiden Arten, auf welche die Methode nutzbar gemacht worden ist, nicht die ältere, sondern die weit später erst von F. KOHLRAUSCH³⁾ angegebene diejenige, welche der bifilarmagnetischen Methode desselben Physikers genau entspricht, bei welcher also gleichzeitig die Ablenkung der Drahtspule und die durch sie erzeugte Ablenkung einer Magnetometer-Nadel gemessen wird. Ihr grosser Vorzug, gegenüber der älteren Art, die Methode zu verwenden, beruht darauf, dass eine schwer zu messende Grösse, nämlich die Windungsfläche der Drahtspule (Summe aller von den einzelnen Windungen eingeschlossenen Flächen) aus dem Resultate herausfällt. Für den Ablenkungswinkel α gilt nämlich wieder die Formel (17), nur dass hier das Correctionsglied im Nenner wegfällt und M das magnetische Moment der stromdurchflossenen Spule, d. h. das Produkt aus Windungsfläche f und Stromstärke i bedeutet; hier kommt also das Produkt von fi und H vor; andererseits liefert die Ablenkung φ der Magnetnadel wiederum das Verhältniss dieser beiden Grössen; der Endwerth von H enthält also f (und ebenso i) gar nicht. Die genauere Berechnung liefert bei Rücksicht auf die Schrägstellung der beiden drehbaren Körper und auf die für die Fernwirkung einer Drahtspule geltenden Gesetze die folgenden Formeln, in denen r die Entfernung der Mittelpunkte von Drahtspule und Nadel, ρ den mittleren Radius der Drahtspule, λ die wirkliche Länge der Nadel und κ ihren Magnetismus im Verhältniss zum Erdmagnetismus bedeutet:

$$H \cdot fi = \frac{D \sin \alpha}{\cos \alpha + \frac{\kappa}{r^3} (2 \cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \varphi)}$$

$$\frac{H}{fi} = \frac{\cos \alpha - 2 \sin \alpha \tan \varphi}{r(r^2 - \rho^2) \tan \varphi (1 + \vartheta)} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{\rho^2}{r^2} + \frac{3}{64} \frac{\rho^4}{r^4} \right) \left(1 + \frac{\lambda^2}{r^2} \right)$$

(der zweite der 3 Faktoren ist die Spulenconstante, vergl. Art. Strommessung), und endlich mit erlaubten Vernachlässigungen

$$H^2 = \frac{D}{r(r^2 - \rho^2)(1 + \vartheta)} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{\rho^2}{r^2} + \frac{3}{64} \frac{\rho^4}{r^4} + \frac{\lambda^2}{r^2} - 2 \frac{\kappa}{r^3} \right) \frac{\sin \alpha}{\tan \varphi} (1 - 2 \tan \alpha \tan \varphi). \quad (21)$$

Zur Ausführung der Versuche ist noch Folgendes zu bemerken. Die Spule muss mehrere hundert Windungen erhalten und, um trotzdem nicht zu schwer

¹⁾ TANAKADATÉ, Phil. Soc. Glasg. 1889.

²⁾ Das Bifilar-Galvanometer im Allgemeinen stammt aus dem Jahre 1846 (W. WEBER, Sächs. Ber. 186, pag. 2411); die Breslauer Apparate von KIRCHHOFF sind etwa 1850 construirt.

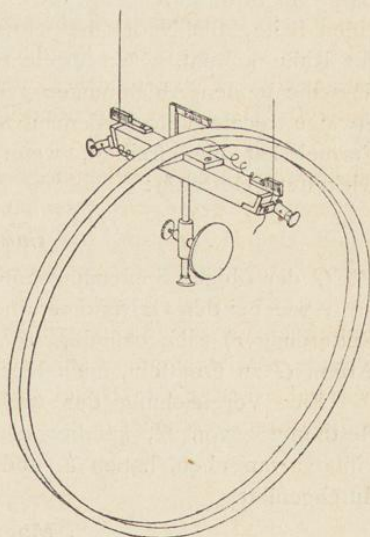
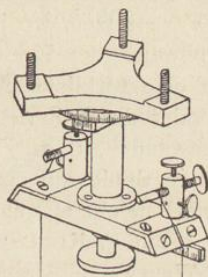
³⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 17, pag. 737. 1882.

zu sein, aus feinem besponnenem Drahte bestehen; mit den Fäden wird sie am besten durch einen Querstab verbunden, an dessen Enden die beiden Fäden münden, so dass man mit Hilfe einer an dem Querstabe angebrachten Theilung zugleich die — möglichst gross zu wählende — Entfernung der beiden Fäden von einander messen kann (am besten mit mikroskopischer Ablesung) (Fig. 135). Die Biflarebene ist in diesem Falle ostwestlich zu richten, so dass die Spulenebene nord-südlich wird. Die Fäden sind feine Metalldrähte, sie dienen zugleich als Zuleitungsdrähte für den Strom, den man so wählt, dass ein passender Ausschlag resultirt, und den man mit Hilfe eines Commutators zum Zwecke der Mittelwerthsbildung in beiden Richtungen (jedoch stets nur auf kurze Zeit) durch die Spule schicken kann. Das Magnetometer wird in eine der beiden GAUSS'schen Hauptlagen gebracht; bequemer ist die zweite Hauptlage (nord-südlich), auf welche sich auch die obigen Formeln beziehen. Beide Apparate tragen drehbare Spiegel, denen man Fernröhre und Skalen oder, was noch besser ist, eine gemeinsame Skale östlich oder westlich (wobei man sich nach der Orientirung der Spiegel zu richten hat) gegenüberstellt, so dass die Skalenabstände A und A' von den beiden Spiegeln nahezu gleich sind. Wählt man dann noch den Abstand r der beiden Apparate so, dass auch ihre Ausschläge nahezu gleich gross werden, so kann man sich die Ausrechnung wesentlich vereinfachen, indem man den trigonometrischen Faktor von H^2 durch

$$\frac{n}{n'} \frac{A'}{A} \left(1 - \frac{5}{8} \frac{n^2}{A^2} \right) \quad (22)$$

ersetzt, wo n und n' die Skalenablenkungen sind. Was endlich die Grösse D , die statische Directions-kraft der Spule nebst Zubehör betrifft, so pflegte man diese früher aus Schwingungszeit und Trägheitsmoment abzuleiten; die Wahl eines grossen Abstandes zwischen den beiden Aufhängefäden ermöglicht es jetzt, diese Entfernung genau genug zu messen, um D aus der Formel (15a) direkt berechnen zu können.

Aeltere Form der Methode. Bei der älteren Methode, die ebenfalls F. KOHLRAUSCH¹⁾ ausführlich beschrieben hat, verwendet man neben dem Bifilargalvanometer eine nördlich oder südlich aufgestellte Tangentenbussole und schickt durch beide einen und denselben Strom i . Hat die Tangentenbussole den mittleren Radius a und die Windungszahl n , sowie das Torsionsverhältniss δ , so lautet die Endformel



(P. 135.)

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, Gött. Nachr. 1869, pag. 36; POGG. Ann. 138, pag. I.

$$H^2 = \frac{D}{f} \frac{2\pi n}{a(1+\vartheta)} \frac{\operatorname{tang} \alpha}{\operatorname{tang} \varphi}. \quad (23)$$

Für rohe Messungen genügt es, die Windungsfläche der Spule aus dem mittleren Radius zu berechnen, d. h., wenn n' die Zahl der Windungen ist, $f = 2\pi\rho n'$ zu setzen, wo jedoch derjenige Mittelwerth ρ zu nehmen ist, welcher den Mittelwerth der Kreisfläche liefert. Für genauere Messungen muss man entweder eine wirkliche Ausmessung vornehmen, oder, da dies nur vor Fertigstellung oder durch Zerlegung der Spule geschehen kann, das galvanische Verfahren anwenden, d. h. f dadurch bestimmen, dass man die Wirkung der fest aufgestellten Spule auf eine Magnetonadel mit derjenigen eines einfachen, seiner Fläche nach leicht auszumessenden Stromkreises vergleicht, in welcher Hinsicht namentlich auf F. KOHLRAUSCH zu verweisen ist¹⁾.

Die WEBER'sche Methode hat den Uebelstand, dass zwei Beobachter nöthig sind, um während der kurzen Zeit, während deren man den Strom durch die Apparate schicken darf, die beiden Ausschläge zu messen. Eine von W. THOMSON vorgeschlagene, von MAXWELL²⁾ angeführte Modifikation des Verfahrens hat den Zweck, einen einzigen Beobachter in den Stand zu setzen, beide Ablesungen zu machen. Man hängt nämlich die Nadel, welche als Bussolennadel dienen soll, in der Mitte der Spule auf und benutzt diese zugleich als Bussolenwindung, sodass bei Stromdurchgang die Spule bei einem Ablenkungswinkel α nach der einen Seite, die Nadel bei einem Ablenkungswinkel φ nach der anderen Seite zur Ruhe kommt. Man erreicht durch diese Anordnung zugleich den Vortheil, dass die beiden Ablenkungen genau an derselben Stelle des Raumes stattfinden, etwaige locale Verschiedenheiten von H also nicht in Betracht kommen. Die Formel hat hier freilich, wenn G die Spulenconstante (s. ob.) ist, die verwickeltere Gestalt³⁾:

$$H^2 = \frac{DG \sin \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\sin \varphi [f \cos \alpha + rG \cos(\alpha + \varphi)]}, \quad (24)$$

wo G der obigen Spulenconstante entspricht, hier aber sich auf den Fall bezieht, dass, wie bei den Galvanometern, die Nadel in ihrer Mitte (nicht in einer äusseren Entfernung r) sich befindet, sodass die bei den Galvanometern angegebenen Arten, G zu ermitteln, auch hier anzuwenden sind.

Eine Vergleichung der wichtigsten der bisher betrachteten Methoden zur Bestimmung von H , nämlich der GAUSS'schen, der bifilarmagnetischen und der bifilargalvanischen, haben F. und W. KOHLRAUSCH⁴⁾ auf elektrochemischem Wege durchgeführt.

Magnetische Waagen.

Wie man behufs Messung elektrischer Ströme ausser eigentlichen Galvanometern auch Stromwaagen benutzt, so hat man auch magnetische Messapparate construirt, deren Drehungsaxe nicht wie bei den eigentlichen Magnetometern vertikal, sondern, wie bei der gewöhnlichen Waage, horizontal liegt, die man also magnetische Waagen nennen kann. Aber erst aus der neuesten Zeit liegen zwei Apparate dieser Art vor, welche den an feine und absolute Messinstrumente zu stellenden Anforderungen genügen. Die eine, zur Messung von Stabmagne-

1) Vergl. pag. 233, wo in der Anmerkung die wichtigste Literatur aufgeführt ist.

2) W. THOMSON, bei MAXWELL, El. und Magn. 2, pag. 456.

3) Vergl. z. B. MASCART und JOUBERT, Lehrb. der El. und des Magn. 2, pag. 224, Gleichung (25) und (26), aus denen man nur \mathcal{F} zu eliminiren braucht.

4) F. und W. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 27, pag. 1. 1886.

tismen bestimmte, rührt von v. HELMHOLTZ¹⁾ her und ist in der ursprünglichen Gestalt von ihm selbst, in einer späteren nebst eingehenden Untersuchungen darüber von KÖPSEL²⁾ beschrieben worden, die andere, zur Messung von H dienende, ist von TÖPLER construiert und von ihm und FREYBERG beschrieben worden.

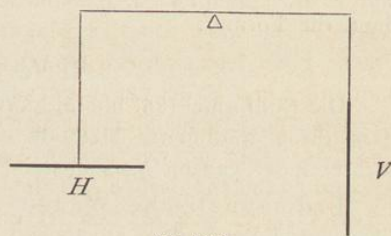
Magnetische Waage von v. HELMHOLTZ. Die ursprüngliche Form ist folgende. An einer Waage hängt einerseits horizontal und dem Waagbalken parallel, andererseits vertikal und mit seiner Mitte in gleicher Höhe, je ein Magnetstab; ihre magnetischen Momente seien M_1 und M_2 , der Abstand ihrer Mittelpunkte, also auch derjenige der Schneiden, sei r , er sei einigermaassen gross gegen die Polabstände l_1 und l_2 in den beiden Stäben. Die Waage sei, eventuell in Folge Auflegens geeigneter Gewichte, im Gleichgewicht. Kehrt man nun einen der Magnete um, sodass seine Pole ihre Lagen miteinander vertauschen, so wird man ein Gewicht auflegen müssen, um das gestörte Gleichgewicht von neuem herzustellen (Fig. 136). Schliesslich kehrt man, um den Einfluss etwaiger Asymmetrien zu eliminiren, auch den anderen Stab um, bestimmt das jetzt fortzunehmende Gewicht und nimmt aus den beiden nahe zu gleichen Gewichten das Mittel p . Man hat alsdann, wenn g die Schwere ist, die Formel:

$$M_1 M_2 = \frac{1}{12} \frac{g p r^4}{1 + \frac{20 l_1^2 - 15 l_2^2}{6 r^2}}. \quad (25)$$

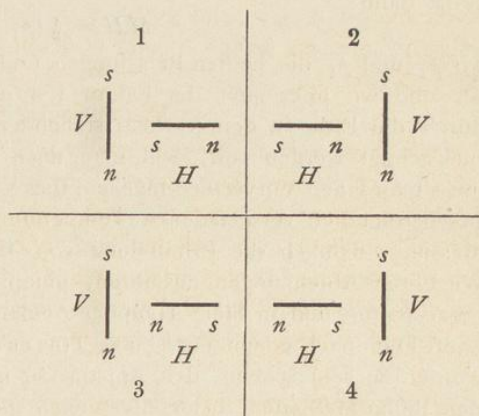
Nennt man dieses Produkt $P(1, 2)$ und stellt eine entsprechende Beobachtung mit dem ersten und einem dritten, sowie mit dem zweiten und dem dritten Stabe an, wodurch man die Produkte $P(1, 3)$ und $P(2, 3)$ erhält, so findet man

$$M_1 = \sqrt{\frac{P(1, 2)P(1, 3)}{P(2, 3)}} \quad (26)$$

und M_2 und M_3 durch analoge Formeln. Die Waage muss eisenfrei, ihre Empfindlichkeit möglichst gross sein. Immerhin haften der Methode zwei Uebelstände an, nämlich der Umstand, dass man, um zu einem guten Resultate zu gelangen, jedesmal noch die beiden Stäbe miteinander vertauschen und die Messung wiederholen muss, und der Umstand, dass, da die Wirkung der Magnete aufeinander nur aus der einzigen Entfernung r gemessen wird (eine andere hat man nicht zur Verfügung), die unsicheren Polabstände in die Endformeln eingehen. Von beiden Uebelständen ist die modificirte Anordnung frei. Hier wird der horizontale Stab überhaupt nicht an die Waage gehängt, sondern



(Ph. 136.)



(Ph. 137.)

¹⁾ v. HELMHOLTZ, Berl. Ber. 1883, pag. 405.

²⁾ A. KÖPSEL, WIED. Ann. 31, pag. 250. 1887.

ausserhalb ihres Gehäuses in gleicher Höhe mit dem vertikalen Mittelpunkt des Stabes festgelegt, und zwar, ähnlich wie bei den GAUSS'schen Beobachtungen, der Reihe nach rechts und mit dem Südpol voran, links und mit dem Nordpol voran, rechts und mit dem Nordpol voran, links und mit dem Südpol voran, sodass der Mittelwerth des Zusatzgewichtes p_1 von etwaigen Aenderungen des Nullpunktes der Waage so gut wie frei ist (Fig. 137). Dieselben Beobachtungen wie aus der Entfernung r_1 werden alsdann aus einer anderen Entfernung r_2 angestellt, wobei man p_2 erhält. Schliesslich kann man noch die Messung von p_1 wiederholen und aus beiden p_1 -Werthen das Mittel nehmen. An die Stelle von (25) tritt dann die Formel:

$$M_1 M_2 = \frac{g(p_1 r_1^6 - p_2 r_2^6)}{6(r_1^2 - r_2^2)}. \quad (27)$$

Die Endformel (26) bleibt, hiervon abgesehen, ungeändert. Noch sei bemerkt, dass diese modificirte Methode es mit Hilfe einer Reitervorrichtung gestattet, während der ganzen Versuchsreihe das Gehäuse nicht zu öffnen.

Erdmagnetische Waage von TÖPLER¹⁾. Eine gewöhnliche Waage, deren drei Schneiden annähernd in eine Ebene fallen, wird auf einen Zapfen gesetzt, dadurch um eine vertikale Axe drehbar gemacht und durch einen Theilkreis t dafür gesorgt, dass diese Drehungen bis auf Minuten abgelesen werden können. Der schwingende Theil der Waage ist kreuzförmig und besteht aus einem leichten horizontalen Messingbalken b und einem vertikalen Magnetstab m . Dazu kommen dann noch zwei recht leichte Waagschalen aus Aluminium, eine Arretirungsvorrichtung, ein Ablese Spiegel, eine Skale s und Ablesefernrohr F ein (Fig. 138). Um nun das Produkt MH zu bestimmen, orientirt man die Schwingungsebene der Waage in den magnetischen Meridian und äquilibriert sie durch Belastung der zu leicht erscheinenden Schale; alsdann dreht man die Waage um 180° und äquilibriert wieder auf derselben Schale; es ist dann

$$MH = \frac{1}{2}(p_1 - p_2)lg,$$

wo p_1 und p_2 die beiden Belastungen und l der Hebelarm der benutzten Schale ist, und wo links noch der Faktor $1 + \mu$ hinzugefügt werden muss, wenn der durch die Erde in dem vertikal stehenden Magneten inducirte Magnetismus berücksichtigt werden soll; will man auch den Temperatureinfluss beachten, so muss man einen Vorversuch machen, durch den man die Gewichts-differenz $p_1 - p_2$ bei beträchtlich verschiedenen Temperaturen vergleicht. Den zweiten Theil der Messung, nämlich die Ermittlung von M/H muss man auf dem gewöhnlichen Wege der Ablenkungen ausführen, indem man den Magnetstab aus der Waage herausnimmt und in einer Hauptlage einem Magnetometer gegenüberstellt. Man kann aber nach einem Vorschlage TÖPLER's, der bisher allerdings nicht ausgeführt worden zu sein scheint, den Apparat so modificiren, dass man, ähnlich wie bei den Bifilar-Methoden, beide Messungen gleichzeitig ausführen kann. Neigt man

¹⁾ TÖPLER, Berl. Ber. 1883, pag. 1029; WIED. Ann. 21, pag. 158. 1884. — J. FREYBERG, WIED. Ann. 25, pag. 511. 1885.

nämlich den Magneten gegen die Mittelschneide, z. B. um 45° , so geht die in die Schwingungsebene fallende Componente seines magnetischen Momentes in die Wägungs-Beobachtung ein, während die Componente nach der Schneidenrichtung hauptsächlich seine Fernwirkung in dieser Richtung bestimmt, also gleichzeitig zur Erzielung einer Ablenkung bei einem in dieser Richtung aufgestellten Magnetometer benutzt werden kann.

Methode der Inductionsströme.

In dem Abschnitt über die Induction elektrischer Ströme wird gezeigt werden, dass, wenn man einen Drahring oder, der kräftigeren Wirkung halber, eine Drahtspule der Wirkung eines Magneten aussetzt oder der Wirkung eines Magneten, der sie bis dahin ausgesetzt war, entzieht oder endlich der der bisherigen entgegengesetzten Wirkung aussetzt, im Augenblicke der betreffenden Aenderung ein Strom durch die Spule läuft, den man messen kann, wenn man in ihren Kreis ein Galvanometer einschaltet. Am vortheilhaftesten ist es, die Spule lang zu wählen, beträchtlich länger als der zu untersuchende Stab ist, den letzteren so in die erstere zu legen, dass seine Axe mit dem mittleren Stück der Spulenaxe zusammenfällt, und ihn dann plötzlich herauszuziehen oder, bei vertikaler Stellung, herausfallen zu lassen. Die Ortsänderung, die man hiernach mit dem Magneten, — oder, was offenbar auf dasselbe hinausläuft, mit der Spule — und zwar möglichst exakt und rasch, vornehmen muss, ist freilich wegen der auf der Hand liegenden, damit verbundenen Uebelstände und der dabei auftretenden Schwierigkeiten wenig empfehlenswerth, aber eine andere Möglichkeit, die Spule dem Einfluss des Magneten zu entziehen, giebt es für permanente Stahlmagnete nicht, und so ist es erklärlich, dass man für derartige Magnete die Methode bisher wenig angewendet hat. Anders für weiche Eisenstäbe, welche auf elektromagnetischem Wege mit Hilfe einer besonderen, der obigen concentrischen Spule temporär magnetisirt werden. Schickt man durch diese Spule einen Strom und macht dadurch den Eisenstab plötzlich zum Magneten, so erhält man in der anderen Spule einen dem erregten Strom plus Magnetismus proportionalen Inductionsstrom; unterbricht man jenen Strom wieder, so erhält man einen dem nun wieder verschwindenden Strom plus Magnetismus proportionalen Inductionsstrom, endlich giebt die Differenz zwischen beiden Grössen, wenn sie vorhanden ist, ein Maass für den in dem Stabe zurückgebliebenen Magnetismus ab. Letzteren Magnetismus erhält man also ohne weiteres; um die beiden ersteren rein zu erhalten, muss man die entsprechenden Versuche mit leerer Spule (ohne Stab) anstellen und die betr. Inductionsströme von den obigen abziehen. Um die absoluten Werthe der Magnetismen zu erhalten, muss man dann noch einen Faktor einführen, der von der Beschaffenheit und den Lageverhältnissen von Spule und Magnet abhängt. In späteren Artikeln wird auf diese Methode noch zurückgekommen werden.

Magnetismus der Lage. Sehr einfach gestaltet sich diese Methode in ihrer Anwendung zur Bestimmung des im obigen oft genannten und als Correctionsgrösse wichtigen, einem Magnetstabe zugehörigen »Inductionscoefficienten« durch die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus, d. h. der Differenz der Magnetismen, die er in Nord-Südlage und in Ost-Westlage annimmt, im Verhältniss zu der letzteren Grösse. Die Ortsänderung führt man in diesem Falle natürlich in der Gestalt einer Drehung aus der Nord-Südlage in die Ost-Westlage aus, oder noch besser (weil exakter ausführbar und von doppelter Wirksamkeit) aus der Nord-Südlage in die Süd-Nordlage, also um 180° . Der Inductionsstrom, welcher

in der Spule entsteht, wenn sie allein die gedachte Drehung ausführt, bringe den Galvanometeraussschlag α_0 hervor, wird die Spule mit dem in ihr befindlichen Magnetstabe gedreht, so entstehe der Ausschlag α , und wird ein Hilfsstab von bekanntem Magnetismus M_1 rasch in die Spule geschoben oder rasch entfernt, so entstehe der Ausschlag α_1 , es ist dann der Magnetismus der Lage

$$L = \frac{M_1}{2} \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_1}$$

und der Inductionscoëfficient

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{M_1}{M} \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_1},$$

wo M der eigene Magnetismus des Stabes in Ost-Westlage ist; benutzt man als Hilfsstab den Hauptstab selbst, so wird einfach

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_1}.$$

Uebrigens ist diese Methode nicht nur zur Ermittlung der Correction bei M - und H -Bestimmungen von Werth, sondern — für Eisenkörper — nach dem Vorgange von RIECKE¹⁾ auch wohl geeignet, zum Studium der Gesetze der Magnetisirung überhaupt zu dienen, worauf später zurückzukommen sein wird²⁾.

Messung der Vertikalintensität des Erdmagnetismus.

Die Grössen, deren Messung die bisher skizzirten Methoden gewidmet sind, sind der Magnetismus eines Stabes und die horizontale Componente des Magnetismus der Erde; zum Theil ergeben sie sich dabei gleichzeitig aus einer und derselben Versuchsanordnung. Das Charakteristische der Anordnungen war insbesondere dies, dass (mit Ausnahme der letztgenannten Fälle) alle Vorgänge in einer horizontalen Ebene stattfanden, d. h. die Ablenkungen von horizontal liegenden und horizontal wirkenden Stäben ausgingen und die Schwingungen in horizontalen Ebenen, also um vertikale Axen, erfolgten; bei der TÖPLER'schen Waage ist zwar die Drehungsaxe horizontal, dies wird aber dadurch wieder ausgeglichen, dass der Magnetstab vertikal steht.

Man könnte nun jenen Methoden analoge gegenüber stellen, bei welchen die Ablenkungen und Schwingungen in vertikalen Richtungen erfolgen, letztere also um horizontale Drehungsaxen stattfinden. Für Stabmagnetismen würden dies nur neue Methoden zur Messung derselben Grösse sein, die nur dann eine Existenzberechtigung würden beanspruchen dürfen, wenn sie den früheren gegenüber Vortheile aufwiesen. Das Gegentheil ist aber der Fall. Die Beobachtung vertikaler Vorgänge, namentlich Schwingungen, ist nämlich augenscheinlich unbequemer als die horizontaler, und die störende Mitwirkung fremder Kräfte ist hier viel beträchtlicher als dort; denn während sie dort bei den unifilaren Methoden von der leicht auf ein geringes Maass herabzudrückenden Torsionskraft und bei den bifilaren Methoden wenigstens nur von einem Bruchtheile der Schwerkraft (vergl. Gleichung 15a) ausgeht, wirkt hier die volle Schwerkraft ein, und die hier unvermeidliche Lagerung auf Schneiden, Spitzen oder Lagern bringt ein schwer zu bestimmendes Element hinein. Man kann wohl sagen, dass hierdurch Schwingungs- und Ablenkungsbeobachtungen für genauere Zwecke so gut wie ausgeschlossen werden, und es würden daher nur Wägungsmethoden übrig

¹⁾ RIECKE, POGG. Ann. 141, pag. 453. 1870.

²⁾ Näheres über den Inductionscoëfficienten findet man bei F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 22, pag. 415. 1884, sowie bei WILD, Mém. Ac. St. Pét. 34. 1886.

bleiben, wie sie in der That beispielsweise bei der v. HELMHOLTZ'schen Waage Anwendung findet.

Was andererseits den Erdmagnetismus betrifft, so liegt die Sache freilich hier anders, insofern die früheren Methoden lediglich seine Horizontalcomponente, die jetzt in Rede stehenden aber eine ganz neue Grösse, nämlich seine Vertikalcomponente liefern. Man würde daher darauf angewiesen sein, diese Methoden auszubilden und die gedachten Schwierigkeiten zu beseitigen, wenn man nicht für diese Grösse indirekte Methoden besässe, welche einfacher zum Ziele führen, und welche auf der Erwägung beruhen, dass, wenn die Richtung, in der die Gesamtkraft des Erdmagnetismus wirkt, also die sogen. Inklinationsrichtung ψ (s. w. u.) bekannt ist, die Verticalcomponente V des Erdmagnetismus und dann auch dessen Gesamtgrösse R sich aus der Horizontalcomponente H mittelst der einfachen Formeln

$$V = H \tan \psi, \quad R = \frac{H}{\cos \psi}$$

ableiten lassen. Dies Verfahren wird denn auch fast ausschliesslich geübt. Immerhin ist es principiell als wünschenswerth zu bezeichnen, auch direkte Methoden zur Messung von V zu besitzen, und es mögen daher, unter Uebergehung älterer Methoden, einige solche hier erwähnt werden. Eine derselben scheint noch nicht verwirklicht worden zu sein, beschränkt sich vielmehr auf einen Vorschlag, den TÖPLER¹⁾ im Anschluss an seine H -Waage gemacht hat. Man benutzt einen horizontal auf einer Schneide spielenden, mit Schalen versehenen Magneten, der durch west-östliche Stellung dem Einfluss der Horizontalintensität entzogen wird. In die Doppelwägung tritt an Stelle der Umdrehung die Ummagnetisirung des Magneten ein, welche mittelst einer Magnetisirungsspirale nöthigenfalls ohne Zerlegung des Instrumentes bewerkstelligt werden kann. Das Produkt $(p_1 - p_2) \cdot l$ (vergl. ob. pag. 80) misst die Grösse $V \cdot (M_1 + M_2)$, unter M_1 und M_2 die im Allgemeinen verschiedenen magnetischen Momente vor und nach dem Ummagnetisiren verstanden. Das Verhältniss dieser Momente kann gleichzeitig mit den Wägungen aus der Wirkung auf ein in der Richtung des Balkens aufgestelltes Magnetometer erkannt werden, zu welchem Zwecke die Waage um die vertikale Axe drehbar zu machen ist. Der absolute Werth von M_1 oder M_2 kann vorher oder nachher durch Vergleich mit einem Magnete von bereits bekanntem Momente bestimmt werden.

Uebrigens hat schon LLOYD²⁾ die Wägungsmethode angegeben, und zwar sowohl für die verticale Componente allein, als auch für die ganze Kraft R , letzteres in der Weise, dass einmal ein Magnet, dann ein Gewicht zur Ablenkung einer Inklinationsnadel angewandt wird. Ferner gehört hierher das WILD'sche Verticalmagnetometer³⁾.

Eine galvanische Wägungsmethode hat ferner TANAKADATÉ⁴⁾ vorgeschlagen. Doch muss es an diesem Hinweisse genügen.

Die von RIECKE⁵⁾ herrührende und in seiner »elektrodynamischen Drehwaage« verwirklichte Methode beruht auf der von irgend einem Magnetpol, also auch vom Erdmagnetismus auf ein Stromelement ausgeübten Wirkung

1) TÖPLER, Berl. Ber. 1883, pag. 1042 (Schluss der Abhandlung).

2) LLOYD, Proc. Ir. Ac. 1, pag. 334. 1838; 2, pag. 210. 1842 (Apparat mit verticalen Deflectoren); Trans. Ir. Ac. 23. 1858.

3) WILD, Bull. Ac. St. Pét. 1872, pag. 456.

4) TANAKADATÉ, Phil. Soc. Glasg. 1889.

5) RIECKE, WIED. Ann. 13, pag. 198. 1881.

(s. w. u.); ist das Stromelement ids horizontal gerichtet, so ist die von der Vertikalcomponente V des Erdmagnetismus auf ds ausgeübte Kraft gleich $Vids$ und horizontal, aber senkrecht zum Stromelement gerichtet; gehört das Element einem geraden Leiter von der Länge l an, der um eine vertikale, durch seinen Anfangspunkt gehende Axe drehbar ist, so wird das jener Kraft entsprechende Drehungsmoment demgemäss $\frac{1}{2}Vil^2$, und man kann durch Beobachtung des Drehungsmomentes, resp. der ihm entsprechenden veränderten Gleichgewichtslage, sowie durch Messung der Stromstärke zur Bestimmung von V gelangen. Der Apparat besteht nun aus einem mit Kupfervitriollösung gefüllten Gefäss, in dessen Mitte eine an einem Faden hängende Kupferscheibe schwebt, während ihr eine zweite, mit dem Boden durch ein Stativ fest verbundene Kupferplatte gegenübersteht; die einander abgekehrten Seiten der Scheiben werden vollständig, die zugekehrten bis auf einen schmalen Rand mit einer isolirenden Schicht, z. B. Glas oder Siegelack überzogen. Tritt nun ein Strom durch den Aufhängefaden ein und durch das Stativ wieder aus, so tritt eine Ablenkung ein, aus welcher V nach der Formel

$$V = \frac{2\varphi D}{il^2 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{\delta^2}{l^2}\right)} = \frac{Dn \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{n}{r}\right)^2\right]}{ir^2 \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\delta}{n}\right)^2\right]}$$

berechnet werden kann, wo l der Scheibenradius bis zur Mitte der frei gebliebenen Randschicht, δ die halbe Breite dieser Randschicht, φ der Ablenkungswinkel und D das aus den Schwingungen einer Messingplatte abgeleitete Drehungsmoment der Torsion bezeichnet, während in dem zweiten Ausdruck, der sich auf Spiegelablesung bezieht, n die Scalenablenkung und r der Scalenabstand ist. Die Stromstärke i muss man anderweitig in absolutem Maasse bestimmen. Näheres hierüber findet sich in einer Abhandlung von R. KRÜGER¹⁾, der auch die obige berichtigte Formel entnommen ist.

Messung von Deklination und Inklination.

Unter Deklination versteht man den Winkel, den der magnetische Meridian mit dem astronomischen bildet, unter Inklination den Winkel, welchen in der Ebene des magnetischen Meridians die Richtung der gesammten erdmagnetischen Kraft mit der horizontalen Richtung bildet. Bei der grossen Wichtigkeit beider Grössen für die Geophysik, Geographie und Nautik ist es erklärlich, dass zu ihrer Bestimmung aussergewöhnlich zahlreiche Apparate und Methoden construirt worden sind; hier kann nur eine kurze Auswahl getroffen werden²⁾.

Deklination. Die Bestimmung der Deklination zerfällt naturgemäss in zwei Theile, nämlich in die Bestimmung des astronomischen und des magnetischen Meridians. Zur Ermittlung des astronomischen Meridians kann man entweder terrestrische Gegenstände, z. B. Kirchthürme benutzen, deren Richtung man kennt und deren Einstellung scharf zu bewerkstelligen ist, oder, wenn man

¹⁾ R. KRÜGER, WIED. Ann. 28, pag. 613. 1886.

²⁾ Näheres hierüber und über die folgenden Abschnitte findet man u. a. in: LAMONT, Handb. d. Erdmagn. 1849. — AIRY, Ueb. d. Magn., deutsch von TIETJEN. Berl. 1874. — GÜNTHER, Lehrb. d. Geophysik, Bd. 2, pag. 12—37. Stuttg. 1885. — KREIL, Anl. zu magn. Beob. Wien 1858. — LIZNAR, Anl. z. Messung u. Berechnung d. Elemente d. Erdmagn. Wien 1883. — ESCHENHAGEN, in KIRCHHOFF's Anl. z. deutschen Landesforschung, Stuttg. 1889. — Zeitschr. f. Instr.-K. Bd. 1, 1881 u. ff.

hierzu nicht in der Lage ist, astronomische Objekte. Von den dabei möglichen Methoden sind die wichtigsten folgende: 1) Beobachtung eines Sonnenrandes (des westlichen oder östlichen) mit einem Theodolithen im Augenblicke des wahren Mittags, d. h. des mittleren Mittags vermindert um die aus den Tafeln zu entnehmende Zeitgleichung. Das Resultat muss man dann natürlich um den dem Sonnenradius ρ entsprechenden Winkel ε corrigiren, wozu man die angenäherte Formel $\varepsilon = \rho / \sin(\varphi - \delta)$ benutzen kann (φ Polhöhe, δ astronomische Deklination der Sonne). 2) Beobachtung der äussersten östlichen und westlichen Lage eines Sternes; die Halbirungslinie giebt den Meridian. 3) Beobachtung nur einer dieser beiden Lagen und Hinzufügung oder Abzug des Winkels $\arcsin(\cos\delta/\cos\varphi)$ (φ Polhöhe, δ Deklination des Sterns). Für beide Messungen sind offenbar dem Himmelspol nahe gelegene Sterne, z. B. der Polarstern selbst, am besten geeignet. 4) Einstellung eines Theodolithen auf einen Stern am Morgen unter Ablesung des Horizontalkreises, dann die entsprechende Ablesung am Abend zur Zeit, wo der Stern wieder dieselbe Höhe hat und Bildung des Mittels beider Einstellungen. Statt eines Sterns kann man auch den westlichen und östlichen Sonnenrand benutzen, muss dann aber eine kleine Correction wegen der Aenderung der Sonnendeklination anbringen. Hat man auf eine dieser Arten den astronomischen Meridian bestimmt, so markirt man seine Richtung durch eine Linie oder, wenn die Axe des Beobachtungsapparates eine feste Aufstellung hat, durch eine Wandmarke, deren Verbindungslinie mit der Axe jene Richtung hat.

Um nun andererseits den magnetischen Meridian und durch Vergleich desselben mit dem astronomischen die Deklination zu bestimmen, bedient man sich eines Deklinatoriums oder Deklinometers (auch Deklinationsbussolle genannt). Als typische Vertreter der drei gebräuchlichsten Klassen derartiger Instrumente können diejenigen von GAMBEY¹⁾, GAUSS und LAMONT gelten. Das Deklinatorium von GAMBEY enthält eine horizontale Kreistheilung, ein vertikales rechteckiges Stativ, dessen Ebene sich um die vertikale Mittelaxe drehen lässt, wobei man den Drehungswinkel mittelst Nonien an der Theilung ablesen kann, in der Mitte des oberen Querarms ein auch in vertikaler Ebene drehbares Fernrohr, mit dem man ferne oder nahe Objekte beobachten kann, je nachdem man den ringförmigen oder den centralen Theil des Objektivs benutzt, endlich einen horizontalen Magnetstab, der an einem in die Vertikalaxe des Apparates fallenden Faden hängt und an seinen Enden überstehende Ringe mit Fadenkreuzen trägt. Man stellt zuerst auf die Marke des astronomischen Meridians, alsdann so ein, dass die beiden Fadenkreuze des Magneten bei vertikaler Drehung des Fernrohrs nach einander mit dessen Fadenkreuz zusammenfallen; die Differenz beider Einstellungen ist die Deklination. Correctionen sind anzubringen wegen der Asymmetrie des Magneten, wegen der Torsion des Fadens und wegen des Umstandes, dass die Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Fadenkreuze des Magneten nicht genau in die Vertikalebene der Fernrohrdrehung fallen wird (s. w. u.).

Das Deklinatorium von GAUSS²⁾ setzt sich aus einem gewöhnlichen Magnetometer und einem ihm in einiger Entfernung gegenübergestellten Theodolithen zusammen. Man sorgt zunächst dafür, dass der Magnet torsionsfrei hänge und folglich die Richtung des magnetischen Meridians annehme, was man durch

¹⁾ GAMBEY, GEHLER's Wörterbuch, Bd. I, pag. 131.

²⁾ GAUSS, Res. a. d. Beob. d. Magn. Ver., Bd. I. 1836; Ges. Werke, Bd. 5.

Beobachtung der Einstellung eines an die Stelle des Magneten gehängten unmagnetischen Stabes und entsprechende Nachdrehung des Fadens leicht bewerkstelligen kann; dass es eventuell nach mehrmaligem Corrigiren erreicht ist, erkennt man daran, dass der Magnet dieselbe Richtung annimmt, wie der unmagnetische Stab, dass also, wenn Spiegelablesung benutzt wird, derselbe Scalentheil oder (eine Scale ist sonst nicht nöthig) dieselbe Marke im Fernrohr erscheint. Oder man bestimmt annähernd den Winkel φ zwischen den Einstellungen des magnetischen und des unmagnetischen, gleich schweren Stabes und führt die Grösse $\vartheta\varphi$ (ϑ Torsionsverhältniss) als Correction ein. Man stellt dann, mit Hilfe von Stellschrauben, den Spiegel senkrecht zur magnetischen Axe des Stabes, was erreicht ist, wenn nach Umkehrung des Stabes, so dass seine obere Seite zur unteren wird, dieselbe Marke im Fernrohr erscheint. Stellt man nun den Theodolithen einmal auf die astronomische Marke, dann so ein, dass das Spiegelbild einer vor der Mitte des Objectivs aufgestellten Marke ins Fadenkreuz fällt, so erhält man die Deklination. Am bequemsten ist es, die astronomische Marke, eventuell durch Erzeugung eines Bildes mittelst einer Linse in gleiche Sehweite mit der Objectivmarke zu bringen — man kann auch einen hohlen Magneten benutzen, so dass man durch eine Linse am vorderen Ende eine Marke am hinteren Ende betrachten kann. Eine dritte Beobachtungsart wird gleich genannt werden. — Das Deklinatorium oder der magnetische Theodolith von LAMONT¹⁾ ist annähernd ebenso fein wie der GAUSS'sche und dabei kompakter, in so weit das Fernrohr wieder an dem Magnetometer selbst angebracht ist, im Uebrigen zeichnet er sich aus durch eine besondere Art die Fernrohraxe mit der Spiegelnormale, also, wenn diese in die Richtung der magnetischen Axe des Stabes fällt, auch mit dieser zur Coincidenz zu bringen. Diese, inzwischen vielfach auch bei anderen Beobachtungen angewandte und auch für das GAUSS'sche Deklinatorium verwerthbare Einrichtung besteht darin, dass dicht hinter dem Fadenkreuz des Fernrohrs, an dessen Stelle noch besser eine Glasplatte mit einem eingeritzten Kreuz tritt, in die zur einen Hälfte aufgeschnittene Rohrwand ein unter 45° geneigter Spiegel oder ein Prisma eingesetzt ist, dessen zugekehrte Fläche dieselbe Neigung hat; die von der Seite kommenden Strahlen fallen auf das Kreuz, gehen durch das Objectiv zum Spiegel, kehren von dort zurück und erzeugen nun ein Bild des Kreuzes, welches bei normaler Stellung desselben mit dem Kreuz zusammenfällt. — Die neuesten Deklinatorien sind die von BRUNNER und CARPENTIER in Paris, sowie von BAMBERG in Berlin construirten.

Von indirekten Methoden sei hier nur die von TANAKADATÉ²⁾ genannt, welche man als Vergrösserungsmethode bezeichnen kann. Eine flache, stromdurchflossene Spule lenkt eine centrale Magnetometernadel ab, ausser, wenn ihre Axe mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt. Ist diese Ablenkung δ , der Winkel zwischen Rollenaxe und Meridian ϑ , die Kraft der Rolle K , so ist näherungsweise

$$\delta = \frac{\vartheta}{1 \pm \frac{H}{K}},$$

so dass man, wenn man durch Wahl der Stromrichtung K negativ und H/K wenig von 1 verschieden macht, δ als stark vergrössertes Bild von ϑ erhält.

¹⁾ LAMONT, Handb. d. Erdmagn., pag. 46. — DOVE's Rep. d. Phys., Bd. 7.

²⁾ TANAKADATÉ, Phil. Soc., Glasg. 1889.

Compass. Ein Apparat, der die umgekehrte Bestimmung hat wie ein Deklinatorium, also in den Stand setzt, bei bekannter Grösse der magnetischen Deklination aus dem magnetischen den astronomischen Meridian und damit überhaupt die Himmelsrichtungen zu ermitteln, wird Compass genannt; er gehört bekanntlich zu den ältesten und praktisch, besonders für die Schifffahrt und Vermessungs- und Erdkunde wichtigsten Apparaten. Natürlich könnte man ihn auch als Deklinometer benutzen, wenn er nicht für diesen Zweck zu wenig genau und empfindlich wäre. Der gewöhnliche Reise- und Taschencompass ist zu bekannt, als dass auf ihn hier näher einzugehen wäre, der Vermessungscompass andererseits liegt ausserhalb des Rahmens dieses Buchs. Der Schiffcompass besteht aus einer in einer horizontalen Ebene drehbaren, meist auf eine Spitze gesetzten Magnetnadel, einer fest auf sie aufgelegten, getheilten oder wenigstens mit einer Windrose versehenen, sich mitdrehenden Kreisscheibe und einem festen, deren Peripherie umgebenden, sich nicht mitdrehenden Ringe, auf welchem die Längsrichtung des Schiffes durch zwei Marken bezeichnet ist; der feste Theil des Apparates ist durch cardanische Aufhängung von den Längs- und Querschwankungen des Schiffes unabhängig gemacht. Da die Deklination keine constante Grösse ist (s. Art. »Erdmagnetismus«), kann man auf der Scheibe nicht direkt die astronomischen, sondern muss die magnetischen Richtungen angeben und hieran bei jeder Ablesung die dem Orte und Zeitpunkte derselben entsprechende Correction anbringen.

So einfach in so weit die Lehre vom Compass ist, so verwickelt gestaltet sie sich, wenn man die Störungen oder Deviationen der Nadel durch den Magnetismus des Schiffes berücksichtigen will, was namentlich seit theilweiser oder überwiegender Anwendung des Eisens beim Schiffsbau geradezu unumgänglich geworden ist. Der Magnetismus eines Schiffes lässt sich der Axenrichtung nach in einen horizontalen und einen vertikalen Antheil zerlegen, andererseits seinem Charakter nach in permanenten, subpermanenten und temporären Magnetismus; sie rühren theils von der Lage her, welche die Eisenmassen während ihrer mechanischen Bearbeitung dem Erdmagnetismus gegenüber einnahmen, theils von der Lage, welche diese Massen während der Fahrt des Schiffes dem Erdmagnetismus gegenüber annehmen; jener Theil ist von constantem, resp. allmählich abnehmendem, dieser von fortwährend veränderlichem Betrage, veränderlich insbesondere mit der Schiffsrichtung, seinen Schwankungen und der geographischen Breite, in der es sich befindet; aber auch der constante Theil übt eine von der geographischen Breite abhängige Wirkung auf die Compassnadel aus, weil diese Wirkung in ihrem Verhältniss zu dem von der Breite abhängigen Erdmagnetismus in Betracht kommt. Ferner ist diese Wirkung je nach der Art und Richtung des magnetischen Antheils, von dem sie ausgeht, entweder von semicirkularem oder von quadrantalem Charakter, d. h. sie wird nur bei zwei oder aber bei vier Stellungen des Schiffes null und bei zwei resp. vier anderen ein Maximum oder Minimum. Aus alledem geht hervor, dass die nächstliegende Idee, dem Schiffe Deviationstabellen mitzugeben, kaum durchführbar ist, und dass auch der Versuch, diese Deviationen durch Magnet- und Eisenmassen, die man der Compassnadel in bestimmter Form und Lage gegenüberstellt, zu compensiren, keine einfache Lösung zulassen wird. Trotzdem ist es den Bemühungen von FLINDERS, AIRY, Sir W. THOMSON u. A., die übrigens noch bis in die neueste Zeit hinein fortgesetzt werden, gelungen, eine im Grossen und Ganzen allen Anforderungen genügende Anordnung aufzufinden. Bei der AIRY'schen Anordnung stellt man in der Nähe des Com-

passes longitudinale und transversale Magnete, sowie Barren von weichem Eisen auf. Bei der THOMSON'schen Anordnung werden diese Körper in die Compassbüchse selbst verlegt und, um die dadurch drohenden schädlichen Einflüsse zu vermeiden, die Compassnadel (oder ein System solcher) möglichst leicht gewählt; der semicirkulare Fehler wird durch einen transversalen und zwei longitudinale Magnete compensirt, die unter dem Compass symmetrisch gegen die Vertikale angeordnet sind, wozu dann für die Schwankungen dieses Fehlers mit der geographischen Breite ein vertikaler Weicheisenstab kommt; der quadrantale Fehler wird durch zwei Kugeln von weichem Eisen aufgehoben, welche symmetrisch zu beiden Seiten der Nadelspitzen angebracht sind; endlich compensirt ein vertikaler Magnet den durch die Schwankungen des Schiffes entstehenden Fehler; durch Vorversuche kann man es dann dahin bringen, dass die Compensation eine allgemein gültige ist. Im Uebrigen muss auf die bezügliche Literatur verwiesen werden¹⁾.

Inklination. Um den Winkel zu bestimmen, den die Richtung der erdmagnetischen Kraft mit der Horizontalen bildet, benutzt man das sogen. Inklinatorium. Es ist das ein dem Deklinatorium zur Seite zu stellender Apparat, der jedoch aus den mehrfach erwähnten Gründen nicht die entsprechende Genauigkeit der Messungen zulässt. Die Magnetnadel ist mit einer durch ihren Trägheitsmittelpunkt gehenden und auf ihrer magnetischen Axe senkrechten Drehungsaxe versehen, deren cylindrisch abgedrehte Zapfen auf zwei glatten, horizontalen Flächen ruhen, so dass sie bei Drehungen der Nadel mit möglichst geringer Reibung auf ihnen rollen; dabei spielen die Spitzen der Nadel auf einem getheilten Vertikalkreise. Der ganze Apparat lässt sich um eine vertikale Axe drehen und mit Hilfe eines Horizontalkreises in einem beliebigen Winkel δ zum magnetischen Meridian einstellen²⁾. Bei rechtwinkliger Stellung gegen den Meridian stellt sich die Nadel vertikal ein, bei kleinerem δ bildet sie mit der Horizontalen einen Winkel φ' , aus welchem man die Inklination φ aus der Formel

$$\text{tang } \varphi = \cos \delta \text{ tang } \varphi'$$

findet, wobei man die beiden Stellungen δ östlich und westlich vom Meridian combiniren kann. Gewöhnlich stellt man in den Meridian selbst ein und findet dann φ ohne weiteres. Nur muss man bei allen derartigen Inklinationsbestimmungen den Winkel φ , statt einmal, 8mal beobachten, nämlich 1) in den beiden, um 180° verschiedenen Stellungen des ganzen Apparats, 2) vor und nach Umlegen der Nadel, so dass oben und unten vertauscht werden, 3) vor und nach Umlegen der Nadel, so dass rechts und links vertauscht werden, 4) vor und nach dem Ummagnetisiren der Nadel durch Streichen mit einem

¹⁾ Die Theorie ist von POISSON zuerst entwickelt worden: *Mém. de l'Inst.* 5, pag. 521. 1824. — Die AIRY'sche Compensationsmethode ist dargelegt in *Trans. R. Soc.* 1856. — Die THOMSON'sche in verschiedenen Bänden des *Phil. Mag.* und der *Proc. Edinb. Soc.* (eine kurze Darlegung findet sich in *Nat.* 10, pag. 388. 1874, eine Abbildung des THOMSON'schen Compasses in *Encycl. Brit.* 6, pag. 228). — Eine ausführliche Uebersicht des ganzen Problems giebt AIRY: *Ueber den Magnetismus*, deutsch von TIETJEN, Berl. 1874, 10. Abschnitt, eine kürzere MASCART und JOUBERT, *Lehrb. d. El. u. d. Magn.* 2, pag. 626 ff. Ferner vergleiche man das »Nautische Handbuch« und das »Manual of the deviation of the compass«, sowie GELCICH, *Z. f. Instr.-K.* 1883, pag. 273, 337 u. 373; endlich die neuesten Bände der letztgenannten Zeitschrift.

²⁾ Ein Nadel-Inklinatorium neuester Construction beschreibt WILD in den *Mém. Ac. St. Pé.* 32, No. 6 und in *Zeitschr. f. Instr.-K.* 1891, pag. 138. — Ueber eine Fadenaufhängung für Inklinatorien s. JOULE, *Proc. Manch. Soc.* 8, pag. 171; über eine übersichtliche Kritik der Inklinatorien LEYST, *Rep. f. Met. (Petersb.)* 1887, Bd. 10, No. 5.

Magneten; endlich muss man jedes Mal beide Nadelspitzen ablesen. Hierdurch erreicht man, dass man alle etwaigen Unvollkommenheiten des Apparats so weit als möglich eliminiert (Excentricität der Kreistheilung, Nicht-Horizontalität der Lager, mechanische Asymmetrie der Nadel, d. h. transversale und longitudinale Abweichung ihres Schwerpunktes vom Mittelpunkt, magnetische Asymmetrie der Nadel). Man nimmt dann aus allen Messungen das Mittel, bei grösseren Abweichungen der Einzelwerthe von einander kann man auch genauere Combinationsformeln anwenden¹⁾. Hat man Zeit, so thut man gut, die Nadel, statt sie jedes Mal möglichst rasch zu beruhigen, im Gegentheil langsam ausschlagen zu lassen und aus den Umkehrpunkten die Ruhelagen, die dann durch Reibung nicht mehr getrübt sein werden, zu berechnen.

Indirekte Methoden. Die Methode von LIZNAR²⁾ besteht in der Messung von $\frac{H}{M}$ nach GAUSS, andererseits von $\frac{V}{M}$ durch Ablenkung derselben vertikal schwingenden Nadel, woraus dann durch Combination in leicht ersichtlicher Weise $\tan \varphi = V/H$ folgt.

Bei der Methode von PSCHIEDL³⁾ wird ein Magnetstab einmal horizontal, das andere Mal vertikal aufgehängt, in jener Lage durch Schwingungen MH , in dieser durch Schwingungen in der zum Meridian senkrechten Ebene d e Grösse (Moment der Schwere $\pm MV$) bestimmt, je nachdem der Nordpol oder der Südpol unterliegt. Sind t, t_1, t_2 die betr. Schwingungsdauern, K und K_1 die Trägheitsmomente, so ist schliesslich

$$\tan \varphi = \frac{V}{H} = \frac{K_1 \left(\frac{1}{t_1^2} - \frac{1}{t_2^2} \right) t^2}{2K}$$

Andere indirekte Methoden zur Bestimmung der Inklination beruhen auf der von den beiden Componenten des Erdmagnetismus ausgehenden Inductionswirkung, und zwar entweder von der Induction von Magnetismus in weichen Eisenstäben oder von elektrischen Strömen in Drahtspulen. Am nächsten liegt es, die Magnetismen, welche ein und derselbe an sich unmagnetische Eisenstab bei vertikaler und horizontaler Lage annimmt, durch Bestimmung ihrer ablenkenden Wirkungen auf eine Magnetnadel zu vergleichen und den *arc tang* des gefundenen Verhältnisses aufzusuchen. Hierin besteht das Verfahren von LLOYD⁴⁾; der Eisenstab wird östlich oder westlich von der Nadel um eine zu seiner Axe und zum Meridian senkrechte Axe drehbar angebracht, das Weitere ergibt sich von selbst; freilich liegen auch die Uebelstände dieser Methode auf der Hand.

Die Methode von LAMONT⁵⁾ knüpft an dessen oben genanntes Deklinatorium an. Nachdem dessen Spiegel so orientirt ist, dass das Okularkreuz mit seinem Spiegelbilde sich deckt, wird auf das Gehäuse ein Ring geschoben, der an zwei gegenüberliegenden Stellen Fortsätze und an diesen befestigte Eisenstäbe trägt, beide vertikal stehend, aber der eine von der Schwingungsebene der Nadel nach unten, der andere nach oben sich erstreckend. Stellt man diesen Ring so auf, dass die Ebene der beiden Stäbe auf dem Meridian senkrecht steht, so hat man auf der einen Seite der Nadel einen Nordpol, auf der

1) Vergl. z. B. KOHLRAUSCH, Leitf. d. pr. Phys., No. 56, oder MAXWELL, El. u. Magn. 2, pag. 146.

2) LIZNAR, Rep. de Phys. 23, pag. 306. 1888.

3) PSCHIEDL, Wien. Ber. 80, pag. 1. 1879.

4) LLOYD, Account of the magn. Observ. of Dublin 1842.

5) LAMONT, DOVE's Rep. d. Physik, Bd. 7.

anderen Seite einen Südpol, jeden von der Stärke kV , wo V die Vertikalcomponente des Erdmagnetismus und k der Inductionscoëfficient der Lage ist. Bestimmt man diesen ein für alle Mal für die benutzten Stäbe und nennt man die Ablenkung, welche die Nadel durch die Stäbe erfährt, α , so hat man

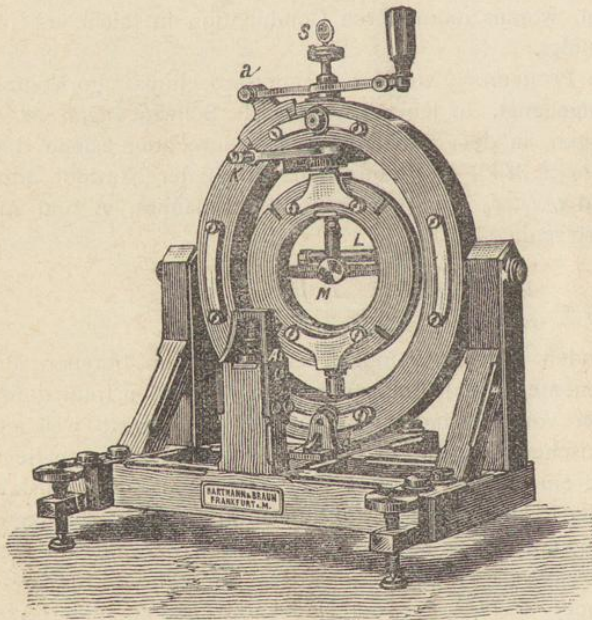
$$H \sin \alpha = 2kV,$$

also die Inklination

$$\varphi = \text{arc tang} \left(\frac{1}{2k} \sin \alpha \right).$$

Zur Elimination aller Asymmetrien thut man gut, den Ring um 180° zu drehen, die Stäbe umzukehren und die Stäbe mit einander zu vertauschen, in allen diesen Stellungen den Winkel α zu messen und schliesslich aus sämtlichen Werthen das Mittel zu nehmen.

W. WEBER'S Erdinductor. Statt den Erdmagnetismus Magnetismus, kann man ihn auch Inductionsströme hervorrufen lassen, und der Vortheil dieser



(P. 139.)

Methode liegt darin, dass Stromstärken bequemer und exakter gemessen werden können, als Magnetismen; der von W. WEBER¹⁾ construirte Erdinductor ist demgemäss von hervorragender Bedeutung geworden. Er besteht aus einer Drahtspule von möglichst zahlreichen Windungen, deren Drehungsaxe sowohl horizontal als auch vertikal gestellt werden kann, und die sich in jeder von beiden Lagen rasch um 180° drehen lässt, derart, dass ihre Ebene vor und nach der Drehung in dem einen Falle genau horizontal liegt, in dem anderen Falle genau vertikal und genau senkrecht

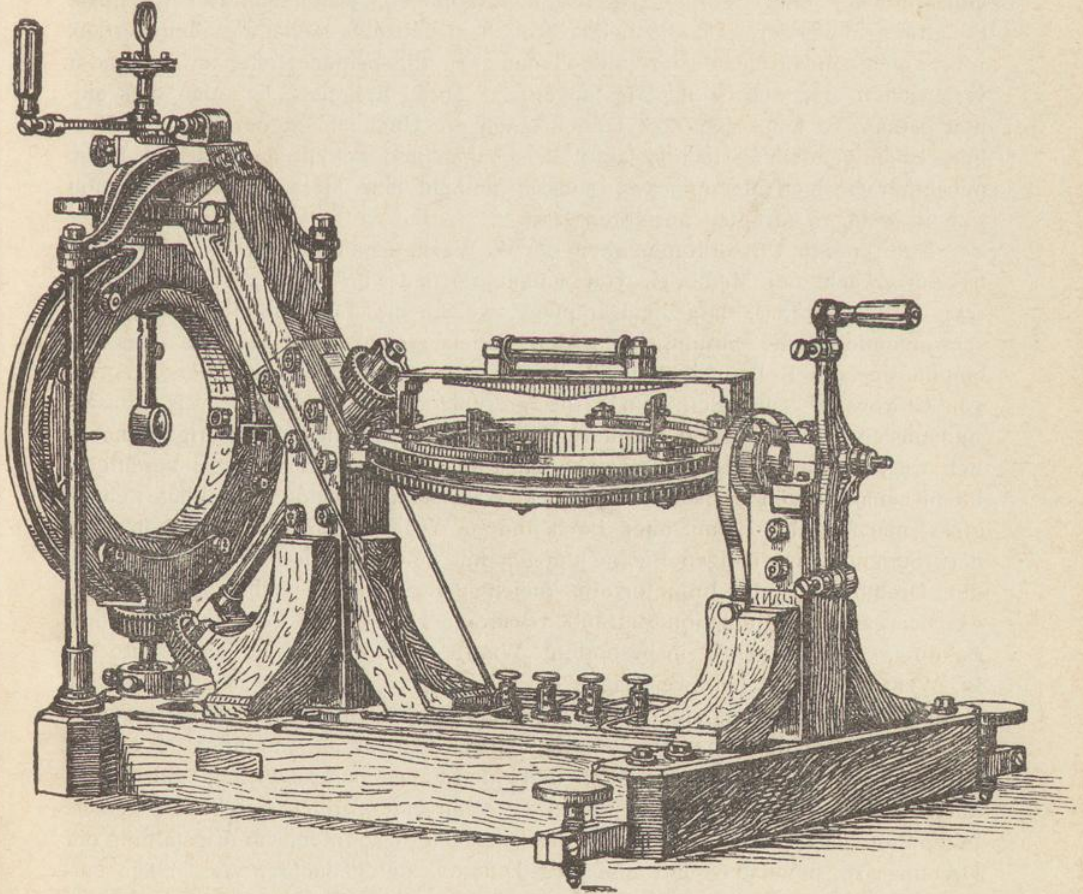
zum Meridian; man kann sich hiervon entweder mittelst einer kleinen Magnetnadel in rechteckigem Rahmen resp. einer Libelle überzeugen, oder auch mit Hilfe gewisser, an dem Apparate anzubringender Vorrichtungen eine Controll-Versuchsreihe ausführen. Ebenso muss man die Drehungsaxe vor jedem Versuche genau orientiren, d. h. genau horizontal und in den Meridian resp. genau vertikal stellen. Nunmehr beobachtet man die Wirkungen der beiden gedachten Drehungen um 180° auf das Galvanometer, wobei man, da die Ausschlagsmethode eine verwickelte Berechnung erfordern und auch sonst Ungenauigkeiten involviren würde, das Multiplikationsverfahren oder, wenn die Ströme kräftig sind, das Zurückwerfungsverfahren anwendet (s. oben pag. 236 ff.). Sind die schliesslichen Ausschlagsbögen α_1 und α_2 , so ist wieder

¹⁾ W. WEBER, Abh. Gött. Ges. 5 (2), pag. 3; POGG. Ann. 90, pag. 209. 1853; Werke 2, pag. 277. — Vergl. auch EDELMANN, In.-Diss., Jena 1881 u. „Neuere Apparate“, Stuttgart. 1882, Bd. I, pag. 113.

$$\varphi = \text{arc tang } \frac{a_1}{a_2}.$$

Eine neuere Form des Erdinductors ist nach HARTMANN und BRAUN in Fig. 139 dargestellt.

Von den Modifikationen des Erdinductors sind diejenigen von SCHERING, WILD, MASCART und LEONHARD WEBER¹⁾ hervorzuheben. Der letztere,* dessen Princip übrigens schon von F. NEUMANN in seinen Vorlesungen erläutert wurde,



(P. 140.)

läuft wie der MASCART'sche auf eine Nullmethode hinaus; er hat gegenüber dem W. WEBER'schen denselben Vorzug wie das WEBER-KOHLRAUSCH'sche Bifilar-Magnetometer vor dem GAUSS'schen Apparat, nämlich den, dass man die beiden Messungen, die erforderlich sind, statt nacheinander zu gleicher Zeit ausführen kann und somit von zeitlichen Einflüssen unabhängig wird. Der L. WEBER'sche Differential-Erdinductor enthält zu diesem Ende zwei genau gleiche Rollen, die durch eine Zahnrad-Uebertragung so verbunden sind, dass mit der einen auch die andere um 180° gedreht wird, und zwar die eine um eine horizontale, die andere um eine vertikale Axe (Fig. 140). Die dabei auftretenden Inductionsströme verhalten sich wie die beiden Componenten des Erdmagnetismus, lassen sich aber durch Einschaltung eines an der Drehung nicht theil-

¹⁾ LEONH. WEBER, Berl. Ber. 1885, pag. 1105.

nehmenden Widerstandes in den Kreis der einen Spule gleich machen, sodass sie, in ein Differentialgalvanometer geschickt, die Nadel desselben in Ruhe lassen; nennt man alsdann die gesammten Widerstände der beiden Stromkreise w_v und w_h , so ist einfach

$$\varphi = \text{arc tang} \frac{w_h}{w_v}.$$

Statt des Differentialgalvanometers kann man auch mit einem gewöhnlichen Galvanometer oder selbst Galvanoskop auskommen, wenn man eine geeignete Schaltung anwendet. Da die beiden Rollen nie absolut gleich ausfallen werden, muss man zur Erreichung grösster Genauigkeit die beiden Rollen mit einander vertauschen und aus beiden Messungen das Mittel nehmen; hat man dies einmal gethan, so kann man sich jedoch einen die Ungleichheit der beiden Rollen berücksichtigenden Correctionsfaktor verschaffen und kommt dann in der Folge mit einer einzigen Messung aus, sodass nunmehr eine Messung der Inklination sich in wenigen Minuten ausführen lässt.

Eine andere Unvollkommenheit der W. WEBER'schen Methode zu beseitigen, ist der Zweck der Methoden von SCHERING¹⁾ und von WILD²⁾. Jene Methode setzt nämlich voraus, dass die Dämpfung, welche die Galvanometerrolle auf die schwingende Nadel ausübt, in beiden Fällen gleich gross sei; da dies bei empfindlicheren Rollen nicht der Fall ist, müsste man auf Grund der Theorien von CHWOLSON³⁾ und SCHERING⁴⁾ die Verschiedenheit berechnen, was mühsam und unsicher wäre. Bei den Differentialmethoden fällt diese Schwierigkeit natürlich weg, und auch bei dem gewöhnlichen Induktor könnte man sie beseitigen, indem man durch Einschaltung eines Widerstandes beide Ausschläge gleich gross macht. Man kann aber noch andere Wege einschlagen. So kann man nach SCHERING aus einigen Beobachtungen mit der Inklination nahen Richtungen der Drehungsaxe der Induktorrolle diejenige Richtung derselben ableiten, bei welcher gar keine Induction stattfinden würde. Dies ist die genaue Inklinationsrichtung. Oder (vergl. insbesondere WILD) man beobachtet ganz wie bei W. WEBER, nämlich bei zwei Lagen der Drehungsaxe, die eine ist auch hier die vertikale Lage, die andere ist diejenige Richtung, welche mit der Inklinationsrichtung nahezu denselben Winkel wie die Vertikale bildet, nur nach der andern Seite; die Ausschläge werden dann in beiden Fällen nahezu gleich, und folglich auch die Dämpfung dieselbe. Man erhält dann eine Formel, welche die genaue Inklination darstellt als die Summe der ungefähr bekannten, zur Einstellung der Drehungsaxe benutzten und eines die Differenz der gedachten Ausschläge enthaltenden Zusatzgliedes. Die Resultate, welche WILD mit einem auf diese Idee gegründeten Erdinduktor erzielt hat, zeigen eine grosse Genauigkeit, das Verfahren ist aber immerhin ziemlich umständlich.

Weitere Methoden beruhen auf dem Princip der Waage, es muss jedoch hier genügen, nur kurz auf sie hinzuweisen. Man kann solche Waagen entweder wie bei der LLOYD'schen und der TÖPLER'schen (s. o.) Waage, mit Magneten combiniren (wofür aber absolute Resultate noch nicht vorzuliegen scheinen) oder mit Stromspulen, wie bei der Waage von C. L. WEBER⁵⁾. Diese Waage

¹⁾ SCHERING, Tagebl. d. Nat. Vers. Cassel 1878, pag. 42; Gött. Nachr. 1882, pag. 345.

²⁾ WILD, Mém. Ac. St. Pé. 1878, No. 8; Bull. 1881, pag. 320 und Mém. 1890, No. 3, Zeitschr. f. Inst.-K. 1891, pag. 203 u. 248.

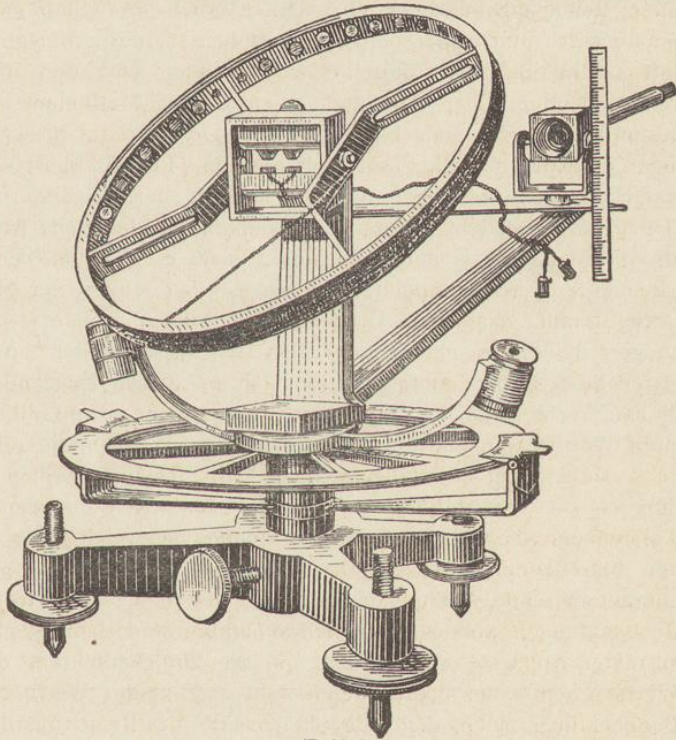
³⁾ CHWOLSON, Mém. Ac. St. Pé. 1879, No. 14; 1880, Nr. 3.

⁴⁾ SCHERING, WIED. Ann. 9, pag. 287. 1879.

⁵⁾ C. L. WEBER, WIED. Ann. 35, pag. 810. 1888; 43, pag. 659. 1891.

besteht aus einer drehbaren Tragsäule, einem Waagebalken mit Schalen und einer mit dem Waagebalken verbundenen, einem Stromkreis zugehörigen Drahtspule; das Gleichgewicht ist also von den mechanischen Kräften einerseits, d. h. von dem der Waage sammt aufzulegenden Gewichten zukommenden Moment der Schwere, andererseits von den elektromagnetischen Kräften, d. h. dem Produkt aus Windungsfläche, Stromstärke und der betreffenden Componente des Erdmagnetismus abhängig. Je nachdem man den Stromkreis vertikal, horizontal oder unter 45° orientirt, erhält man drei verschiedene Methoden, von denen die dritte die bequemste ist, weil man bei ihr die bei den beiden anderen noch erforderlichen

Ablenkungsbeobachtungen an einem besonderen Instrumente ganz vermeiden kann, indem man zwei Beobachtungen mit senkrecht und parallel zum Meridian stehenden Waagebalken mit einander combinirt. — Uebrigens hat später C. L. WEBER¹⁾ die Methode so modificirt, dass er den Stromkreis zwar beibehalten, die Wägung aber aufgegeben und durch ablenkende Nullmethode ersetzt hat



(P. 141.)

(Fig. 141). Ist nämlich der um einen horizontalen Durchmesser leicht drehbare Stromkreis in seiner natürlichen Lage etwas steiler als die Inklination, der Winkel also γ statt φ , so ist, wenn die Schwingungsebene senkrecht zum Meridian steht, das Drehungsmoment $V \cdot fi \cos \gamma$, im Meridian kommt noch $\pm Hfi \sin \gamma$ hinzu, in einer Zwischenlage (Winkel α gegen den Meridian) $Hf \sin \gamma \cos \alpha$; für ein gewisses α wird nun $Vfi \cos \gamma = Hf \sin \gamma \cos \alpha$, und dann ist

$$\text{tang } \varphi = \text{tang } \gamma \cdot \cos \alpha.$$

Man braucht also lediglich zwei Winkel zu messen.

Schliesslich ist noch auf die oben skizzirte elektrodynamische Drehwaage von RIECKE (pag. 83) zurückzuverweisen. Combinirt man nämlich diesen Apparat, welcher das Produkt Vi aus Vertikalintensität und Stromstärke liefert, mit einem Bifilar-Galvanometer, aus dem sich Hi ergibt, so findet man

$$\frac{V}{H} = \text{tang } \varphi = \frac{2FR}{r} \frac{D}{D'l^2 \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\partial}{l} \right)^2 \right]} \frac{n \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{n}{r} \right)^2 \right]}{N \left[1 - \left(\frac{N}{2R} \right)^2 + 2 \left(\frac{N}{2R} \right)^4 \right]}$$

¹⁾ C. L. WEBER, WIED. Ann. 43, pag. 659. 1891.

wo D und D' die mechanischen Drehungsmomente für Drehwaage und Galvanometer, F die Windungsfläche der Rolle des letzteren und n, r resp. N, R Ablenkung und Abstand der Skalen zur Beobachtung der Drehwaage resp. des Galvanometers sind. Die Methode ist, wie man sieht, mühsam, aber sie liefert, wie es scheint, Werthe, deren Genauigkeit $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Bogenminute beträgt.

Relative Messung magnetischer Intensitäten und Richtungen.

Die bisherigen Auseinandersetzungen bezogen sich auf die absolute Messung einer Reihe magnetischer Grössen, nämlich von Stabmagnetismen, des Erdmagnetismus und seiner beiden Componenten, der erdmagnetischen Deklination und Inklination. Die bezüglichen Methoden enthalten natürlich, da sie von weitergehendem Charakter sind, ebenso viele Methoden zu lediglich relativen Bestimmungen der gedachten Grössen. Der Apparat dieser Methoden wird sich sogar in experimenteller und rechnerischer Hinsicht meist sehr beträchtlich vereinfachen, wenn es sich nur darum handelt, unter einander vergleichbare Werthe einer und derselben Grösse zu gewinnen. Andererseits freilich wird es gerade für derartige Vergleichen, zumal, wenn es sich um wenig von einander abweichende Werthe handelt, auf die Empfindlichkeit der Methoden ankommen, sowie darauf, dass man wirklich *ceteris paribus* arbeitet, d. h. dass die Anordnungen in den verschiedenen Fällen sich ausschliesslich hinsichtlich der zu vergleichenden Grösse unterscheiden. Unter diesen Umständen nehmen die Methoden nicht selten eine veränderte Gestalt an, eine Gestalt, die für die absoluten Werthe weniger, um so empfindlicher aber für die relativen ist. Namentlich spielen hier ganz allgemein zwei Beobachtungsformen eine wichtige Rolle; nämlich die Querstellung der zur Beobachtung dienenden Magnetnadel durch Torsion und die Compensationsanordnung, bei welcher der absolute Hauptbetrag der betreffenden Grösse ganz herausfällt und der die Vergleichungsgrössen charakterisirende Antheil auch deshalb deutlicher hervortritt. Die Resultate der Beobachtungen an den Vergleichsapparaten sind dann eventuell noch mit Hilfe absoluter Apparate auf absolutes Maass zurückzuführen, d. h. 1) der absolute Werth irgend einer beobachteten Zahl und 2) der Werth einer Differenz zweier Beobachtungszahlen, d. h. der Skalenwerth des Relativinstrumentes zu ermitteln. Im Uebrigen kann hier nur Weniges angeführt werden; die Bedeutung der meisten Methoden erstreckt sich wesentlich auf die Geophysik, daneben ist die Anwendung der betreffenden Apparate zur Controlle der oben beschriebenen absoluten Methoden zu nennen¹⁾.

Vergleichung von Stabmagnetismen. Die bezüglichen Methoden ergeben sich aus dem früheren ohne Weiteres. Von den beiden Methoden, der Ablenkungen und der Schwingungen, die für absolute Messungen zu combiniren waren, ist hier jede für sich ausreichend. Eine für rasche Vergleichen sehr bequeme Methode hat BOUTY²⁾ angegeben. Man hängt die beiden Magnete an demselben Gerüst, aber hinreichend weit von einander entfernt auf, wählt irgend einen Winkel ϑ zwischen ihren Richtungen und beobachtet den Winkel α , in den sich der Stab M gegen den Meridian stellt; dann ist

¹⁾ Ausser der oben (pag. 84 u. A.) gegebenen Specialliteratur für erdmagnetische Messungsmethoden mögen hier noch angeführt werden: GAUSS, Res. a. d. Beob. d. magn. Ver. 1836 bis 1841 u. Ges. Werke, Bd. 5; F. KOHLRAUSCH, WIED. ANN. 15, pag. 533. 1882; 19, pag. 130. 1883; 29, pag. 47. 1886. — Ferner die von NEUMAYER und WILD verfassten Anleitungen zu magn. Beob. auf Reisen.

²⁾ BOUTY, Ann. Ec. norm. (2) 4, pag. 9. 1875.

$$\frac{M'}{M} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\vartheta - \alpha)},$$

speciell wenn die Magnete senkrecht zu einander gerichtet werden:

$$\frac{M'}{M} = \tan \alpha.$$

Als dritte reihet sich ihnen die Methode der Inductionsströme in Spulen an, die man der Wirkung der zu vergleichenden Magnete in jedesmal gleicher Weise plötzlich aussetzt oder plötzlich entzieht, eine Methode, die vor den beiden ersten den Vortheil voraus hat, dass sie von den Schwankungen des Erdmagnetismus unabhängig ist. Will man zwei Stäbe von wenig verschiedenem Magnetismus vergleichen, so kann man ihre ablenkenden oder ihre inducirenden Wirkungen compensiren, d. h. sie in entgegengesetztem Sinne auf eine Ablenkungsnadel oder auf ein mit ihren Spulen verbundenes Galvanometer wirken lassen und die Differentialwirkung messen, wobei das specielle Verfahren sich verschieden gestalten wird, je nachdem es darauf ankommt, die Differenz oder das Verhältniss der Magnetismen zu ermitteln, Grössen, deren jede in besonderen Fällen wissenswerth ist. Zu derartigen relativen Messungen gehören schliesslich auch diejenigen des Inductionscoefficienten eines Stabes durch die Erde (s. ob. pag. 81), und des Temperaturcoefficienten eines Stabes (s. ob. pag. 68 sowie weiter unten in »Magnetismus und Wärme«).

Intensitätsvariometer. Die zeitlichen Variationen der Horizontalintensität des Erdmagnetismus könnte man durch Schwingungs- oder Ablenkungsbeobachtungen verfolgen, die ersteren sind aber zeitraubend und kommen darum nicht wesentlich in Betracht. Für die Ablenkungsmethoden wird, wie schon bemerkt wurde, meist die gegen den Meridian senkrechte Stellung des hängenden Magneten benutzt, die zugleich den Vortheil bietet, dass Aenderungen der Declination einflusslos bleiben. Dagegen müssen in alle folgenden Formeln zur Erzielung grösserer Genauigkeit Correctionsglieder für die Temperatur und die zeitliche Schwächung des Stabmagnetismus eingeführt werden, wozu am besten von Zeit zu Zeit anzustellende Controllversuche dienen. Zur Erzielung der Quer- oder einer andern Zwangsstellung der Magnetenadel können verschiedene Wege eingeschlagen werden. Ein solcher besteht in der Torsion des Fadens, an welchem der Magnet unifilar hängt; tordirt man um den Winkel α und folgt der Magnet um den Winkel φ , so ist, wenn ϑ das Torsionsverhältniss ist, die einer Aenderung von φ und $\delta\varphi$ entsprechende relative Aenderung von H durch die leicht abzuleitende Gleichung

$$\frac{\delta H}{H} = \frac{\cos \varphi + \vartheta}{\sin \varphi} \delta \varphi$$

gegeben, also, wenn $\varphi = 90^\circ$ gewählt wird, sehr einfach:

$$\frac{\delta H}{H} = \vartheta \cdot \delta \varphi.$$

Zuverlässiger ist die Anwendung der bifilaren Aufhängung, für welche die entsprechende allgemeine Formel

$$\frac{\delta H}{H} = [\cotang(\alpha - \varphi) + \cotang \varphi] \delta \varphi$$

gilt, für $\varphi = 90^\circ$ die specielle Gleichung

$$\frac{\delta H}{H} = - \tan \alpha \cdot \delta \varphi,$$

(wobei angenommen ist, dass der ganze Drehungswinkel α unter 180° bleibt) oder, wenn man statt α den Winkel einführt, um den die Bifilarebene unten gegen oben gedreht ist, d. h. den Winkel $\alpha - \varphi = \beta$:

$$\text{allgemein: } \frac{\delta H}{H} = (\cotang \beta + \cotang \varphi) \delta \varphi,$$

$$\text{für } \varphi = 90^\circ: \frac{\delta H}{H} = \cotang \beta \cdot \delta \varphi.$$

Bei Spiegelablesung mit einer um r entfernten Skala kann man $\delta \varphi$, da es stets klein sein wird, durch $\delta s/2r$ ersetzen, wo δs die Aenderung der Skalenablesung ist. Das Temperaturglied hat, wenn $-\mu$ der Temperaturcoëfficient der Nadel und β der Ausdehnungcoëfficient der Drähte ist, die Form $(\mu + \beta)\delta t$, das Zeitglied, wenn a der Schwächungcoëfficient ist, die Form $-a \cdot \delta T$, unter Umständen muss man endlich auch noch die eigene Torsion der Drähte berücksichtigen. — Eine dritte Methode, die Nadel quer zu stellen, besteht in der geeigneten Gegenüberstellung von Magnetstäben, sogen. Deflektoren. Die allgemeine Gleichung lautet hier

$$\frac{\delta H}{H} - \tan(\varphi + \alpha)(\delta \varphi + \delta \alpha) = \frac{\delta F}{F} + \cotang \varphi \delta \varphi,$$

wo F die Grösse der vom Deflektor am Orte der Nadel ausgeübten Kraft, φ ihr Winkel mit der abgelenkten Nadel und α ihr Winkel mit der Normale des Meridians ist; für Querstellung wird unter Vernachlässigung von δF , also der Aenderungen des Stabmagnetismus wiederum sehr einfach

$$\frac{\delta H}{H} = \cotang \varphi \delta \varphi,$$

die beiden Correctionsglieder für Temperatur und Zeit sind hier beide negativ zu nehmen, φ kann man bestimmen, indem man diejenige Stellung des Magneten sucht, bei welcher er ohne Einfluss auf die Nadelstellung ist; eine andere Anordnung ist mit $\varphi = 45^\circ$, es ist dann unter Berücksichtigung der Aenderung der Deklination D

$$\frac{\delta H}{H} = 2\delta \varphi + \delta D.$$

Statt eines Deflektors kann man nach F. KOHLRAUSCH (Fig. 142) zweckmässig deren vier verwenden, die man ähnlich auf einem Rahmen anordnet wie beim Compensations-Magnetometer (pag. 71), wobei man dann zugleich den Vortheil hat, den Winkel α aus der Drehung des Rahmens ableiten zu können.

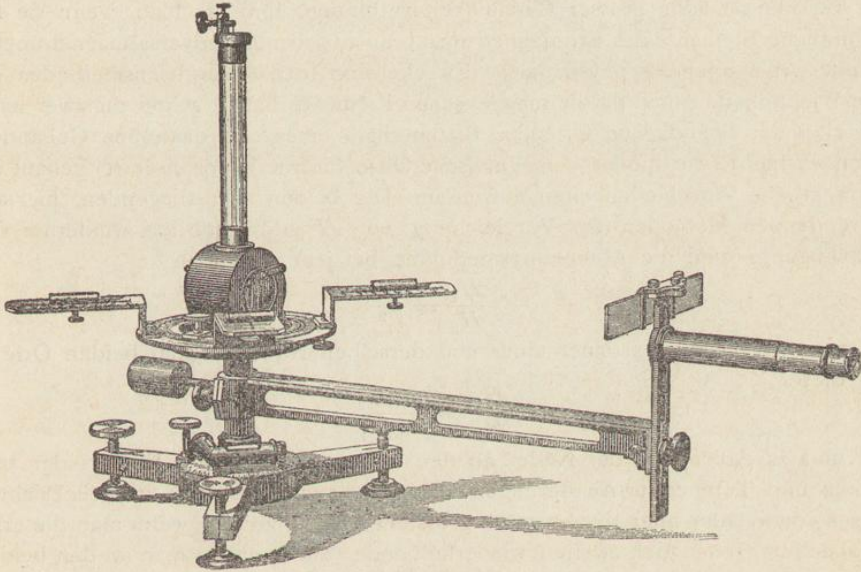
Die Aenderungen der Vertikalcomponente des Erdmagnetismus kann man in ähnlicher Weise an einer als Waagebalken eingerichteten Inklinationsnadel verfolgen oder man kann hierzu die schon erwähnten Apparate von LLOYD, WILD, TÖPLER u. A. benutzen.

Einen besonderen Apparat für diesen Zweck, das »Quadrifilar-Magnetometer«, haben E. und K. SCHERING¹⁾ construirt. Der Magnet hängt hier in eigenthümlicher Weise an zwei Fadenpaaren, die, schräg durchs Zimmer laufend, an entgegengesetzten Wänden befestigt sind; die verticalen Drehungen werden mit Spiegel und verticaler Scala verfolgt.

Deklinations- und Inklinationsvariometer. Ueber die Verfolgung der zeitlichen Aenderungen der Deklination ist wenig zu sagen, meist beobachtet

¹⁾ K. SCHERING, WIED. Ann. 23, pag. 686. 1884. — Auch von BIESE in HELSINGFORS ist ein Verticalvariometer construirt worden.

man die Einstellungen der Nadel selbst, eine andere Methode, der sich eine beliebige Empfindlichkeit geben lässt, besteht in der Umkehrung der Nadel um 180° , so dass ihr Nordpol nach Süden, ihr Südpol nach Norden zeigt¹⁾. Ferner kommt hier die TÖPLER'sche Waage mit zum Meridian senkrecht gestellter Schwingungsebene in Betracht²⁾. — Für die Inklination liefern die oben angegebenen absoluten Methoden zum Theil sehr einfache Variationsformeln, so



(P. 142.)

namentlich die Methode von LAMONT sowie die verschiedenen Erdinductoren, für die LAMONT'sche Methode gilt z. B. die Formel

$$\delta\varphi = \frac{\cos^2\varphi}{2k\cos^2\alpha}\delta\alpha + \left(\frac{\tan\alpha\cos^2\varphi}{2k} - \sin\varphi\cos\varphi\right)\frac{\delta H}{H},$$

wo φ und $\delta\varphi$ die Inklination und ihre Aenderung, α und $\delta\alpha$ die Ablenkung und ihre Aenderung, k der Inductionscoëfficient der LAMONT'schen Stäbe ist (pag. 89), eine Formel, welche unter bestimmten Umständen eine einfachere Gestalt annimmt.

Magnetographen. Wie in anderen Gebieten der Messkunde hat man auch hier, um die häufige Ablesung zu ersparen und um überdies statt einer Reihe von Einzelwerthen eine fortlaufende Curve der betreffenden Grösse zu erhalten, selbstregistrirende Apparate eingeführt und in den grossen magnetischen Observatorien, z. B. in Kew (England), im Park St. Maur (Frankreich), Potsdam (Deutschland) aufgestellt. Die Registrirung erfolgt durchweg nicht eigentlich auf graphischem, sondern auf photographischem Wege, indem der von einem Lichtpünktchen ausgehende und vom Drehspiegel des betr. Apparates reflektirte Strahl auf eine mit empfindlichem Papier bespannte Walze geworfen wird, welche sich vermöge eines Uhrwerks täglich einmal herumdreht. Derartige Magnetographen sind u. A. von AIRY, LEU, MASCART, ESCHENHAGEN construiert worden.

¹⁾ MAXWELL, El. u. Magn. 2, pag. 141.

²⁾ Vergl. FREYBERG, WIED. Ann. 25, pag. 514. 1885.

Vergleichung erdmagnetischer Grössen an verschiedenen Orten. Der Messung der zeitlichen Relativwerthe der erdmagnetischen Elemente schliesst sich die entsprechende Aufgabe für örtliche Verschiedenheiten an, eine Aufgabe, die bei ihrer Wichtigkeit für wissenschaftliche Reisen sehr zahlreiche Bearbeitungen gefunden und zur Construction von Reiseapparaten geführt hat, welche die Bequemlichkeit des Transports und der Beobachtungen und Dauerhaftigkeit mit verhältnissmässig grosser Genauigkeit verbinden, und die man, wenn sie für sämtliche Elemente des Erdmagnetismus brauchbar sind, Universalmagnetometer nennt. Aber auch für physikalische Zwecke sind lokale Vergleichsmethoden oft von Wichtigkeit, zumal da die magnetischen Elemente häufig schon an zwei nahe bei einander befindlichen Orten, z. B. innerhalb eines und desselben Gebäudes, wenn es nicht (wie moderne magnetische Observatorien) ganz eisenfrei gebaut ist, beträchtliche Verschiedenheiten aufweisen. Die beiden nächstliegenden, hier anzuwendenden Methoden zur Vergleichung von H sind natürlich wiederum die Schwingungs- und die Ablenkungsmethode; bei jener hat man

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

(t_1 und t_2 Schwingungsdauer einer und derselben Nadel an den beiden Orten), bei dieser

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1}$$

(α_1 und α_2 Ablenkung der Nadel an den beiden Orten). Den Einfluss der zeitlichen und Temperatur-Aenderungen darf man auch hier nicht unberücksichtigt lassen, man kann aber den ersteren grösstentheils eliminiren, wenn man die erste Beobachtung nach der zweiten wiederholt, oder auch, indem man an den beiden Orten gleichzeitig mit je einer Nadel (und eventuell je einem Ablenkungsstab) beobachtet, diese dann vertauscht und schliesslich auch hier wieder die erste Beobachtung wiederholt. Zu derartigen lokalen Vergleichungen lässt sich z. B. das compensirte Magnetometer von F. KOHLRAUSCH gut verwenden. Weniger zeitraubend als die eine und empfindlicher als die andere der genannten Methoden ist jedoch auch hier die Methode der erzwungenen Querstellung der Nadel, wozu (besser als andere Directionskräfte) Ablenkungsstäbe dienen; ein derartiger Apparat ist das Ablenkungsvariometer von KOHLRAUSCH¹⁾ (s. o. Fig. 142). Muss man diese Stäbe, um Querstellung der Nadel zu erzielen, so orientiren, dass der Winkel der Kraft mit der Nadel φ ist, und ist an dem anderen Orte alsdann die Abweichung von der Querstellung δ , so hat man

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1} = \delta \tan \varphi.$$

In der Ausführung gestaltet sich die Messung am besten folgendermaassen: Als Magnetnadel benutzt man einen auf beiden Seiten spiegelnden magnetischen Stahlspiegel, orientirt ihn in der gedachten Weise, dreht die Deflektoren resp. den sie tragenden Rahmen (pag. 96) um einen solchen Winkel 2φ , dass der Spiegel sich um nahe 180° dreht und misst die dabei gegen die erste Stellung eintretende Verschiebung n des Bildes einer um r entfernten Skale; die entsprechende Beobachtung (n') führt man an dem anderen Orte aus und findet dann

$$\frac{H' - H}{H} = \frac{\tan \varphi}{4r} (n' - n);$$

hierbei ist für beide Orte gleicher Skalenabstand angenommen, man braucht überdies gar nicht mit grossem Skalenabstand zu beobachten und kann folglich,

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 19, pag. 130. 1883.

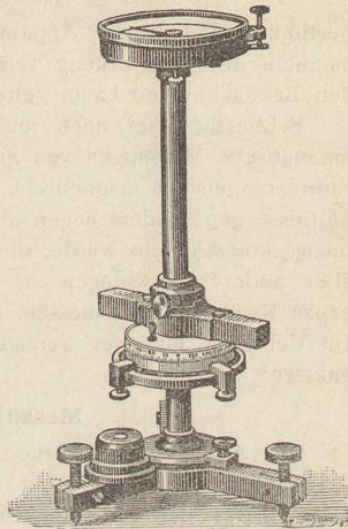
was für einen transportablen Apparat sehr wichtig ist, Skale und Fernrohr durch einen Arm mit dem Apparate fest verbinden, wie dies die Figur zeigt. Die Temperaturcorrection hat wieder die Form $\mu(t' - t)$, wo μ durch zwei Vergleichsversuche bei hoher und niedriger Temperatur ein für allemal bestimmt werden kann.

Neuerdings hat F. KOHLRAUSCH¹⁾ ein kleines sehr compendiöses Lokalvariometer angegeben dessen Benutzung in sehr einfacher und rascher Weise zum Ziele führt (Fig. 143). Es enthält eine horizontal bewegliche Nadel auf hohem Stativ und einen um letzteres als Axe drehbaren, an seinem Fusse angebrachten Magneten; man stellt diesen nordstüdlich ein, so dass die Nadel sich in umgekehrter Zwangslage befindet, dreht ihn dann um einen gewissen Winkel und beobachtet die entsprechende Drehung der Nadel.

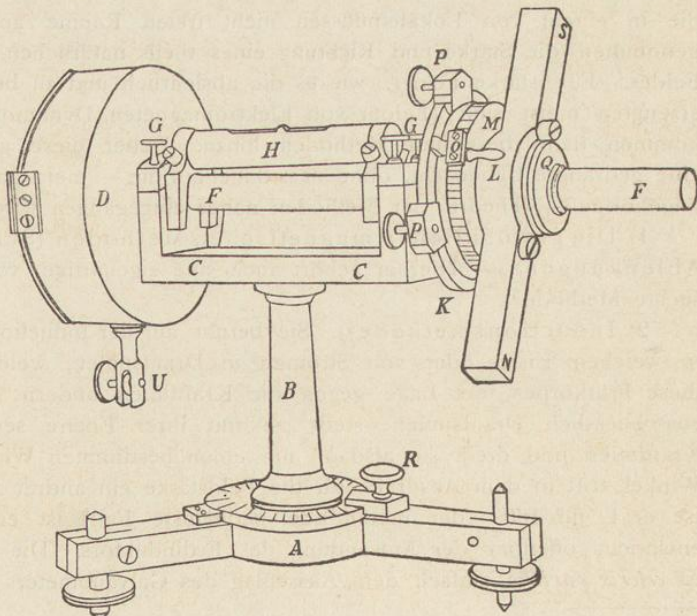
In vielen Fällen ist es wichtig, nicht bloss die horizontale Componente, sondern den ganzen Erdmagnetismus in seinen bekannten Schwankungen zu verfolgen; hierzu dient das Gebirgsmagnetometer von O. E. MEYER²⁾. Man kann sich dieses Instrument (Fig. 144) durch Umlegung aus dem von KOHLRAUSCH entstanden denken; das Stativ läuft in einen horizontalen Träger aus, an dessen einem Ende die Inklinationsnadel, an dessen anderem Ende der Deflektor sich befindet,

und der mit diesen Theilen um das Stativ drehbar ist. Man bringt bei entferntem Deflektor die Nadel zunächst in den Meridian und in die Inklinationsrichtung, dann mittelst des Deflektors in die umgekehrte Zwangslage und bringt ihr schliesslich durch die Drehung des Deflektors eine Ablenkung bei. Wählt man den Drehungswinkel des Deflektors φ so, dass der

Drehungswinkel ω der Nadel an einem bestimmten Orte 90° wird, und beobachtet



(P. 143.)



(P. 144.)

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 29, pag. 47. 1886.

²⁾ O. E. MEYER, WIED. Ann. 40, pag. 489. 1890.

man an einem anderen Orte $\omega + \delta$, so sind Verhältniss und relative Differenz der ganzen Erdmagnetismen durch die Formeln

$$\frac{R'}{R} = \frac{\cos(\varphi' - \delta)}{\cos\varphi \cos\delta}, \quad \frac{R' - R}{R} = \tan\varphi \tan\delta$$

bestimmt. Bei beiden Apparaten resp. Formeln sind die höheren Glieder der magnetischen Fernwirkung vernachlässigt, der betr. Fehler macht sich aber bei den Beobachtungen kaum geltend.

Schliesslich sei noch auf ein Specialkapitel hingewiesen, welches für erdmagnetische Messungen von grosser Wichtigkeit ist, nämlich auf die besonderen Einrichtungen für magnetische Messungen in hohen Breiten, in denen die Verhältnisse ganz anders liegen als in mittleren Breiten, und in denen es z. B. sehr unzumuthbar sein würde, die Messung des dort sehr kleinen H zur Grundlage aller anderen Messungen zu machen. Vielmehr wird man dort V oder die ganze Kraft R direkt messen, z. B. nach dem LLOYD'schen (pag. 83) Verfahren¹). Im Uebrigen muss es genügen, auf eine zusammenfassende Schrift von WEYPRECHT²) hinzuweisen.

Messung magnetischer Felder.

Die Aufgabe, die Stärke und Richtung irgend eines magnetischen Feldes (pag. 20) zu bestimmen, ist eine Verallgemeinerung der Aufgabe, dieselben Grössen für den Erdmagnetismus, also Intensität, Deklination und Inklination zu ermitteln. Handelt es sich um künstlich erzeugte Felder von schwacher Intensität, also von einer Intensität, welche von derselben Grössenordnung ist wie H , V oder $R = \sqrt{H^2 + V^2}$, so können die oben aufgeführten Methoden natürlich ohne Weiteres Anwendung finden; liefert doch jede Messung von H , die in einem von Lokaleinflüssen nicht freien Raume angestellt ist, streng genommen die Stärke und Richtung eines theils natürlichen, theils künstlichen Feldes. Für starke Felder, wie es die absichtlich und zu bestimmten Zwecken erzeugten meist sind (Felder von Elektromagneten, Dynamomaschinen u. s. w.) kommen dann besondere Methoden hinzu. Ueber diese giebt das Folgende eine gedrängte Uebersicht, ohne dass dabei auf die — meist ganz andern Kapiteln angehörige — Theorie der Methoden näher eingegangen wird.

1) Die gewöhnlichen magnetischen Methoden (Schwingungen und Ablenkungen). — Hierher gehört auch eine eigenartige, von P. MEYER untersuchte Methode³).

2) Inductionsmethode⁴). Sie beruht auf der Induction von Magnetismus in weichem Eisen oder von Strömen in Drahtspulen, welche eintritt, sobald diese Prüfkörper ihre Lage gegen die Kraftlinien ändern; man benutzt fast ausschliesslich Drahtspulen, stellt sie mit ihrer Ebene senkrecht gegen die Kraftlinien und dreht sie alsdann um einen bestimmten Winkel; je nach dem Winkel tritt in dem Ausdruck für die Feldstärke ein anderer Faktor auf, für 90° ist er 1, für 180° (der methodisch bequemste Fall) ist er $\frac{1}{2}$. Die Methode entspricht offenbar der Anwendung des Erdinduktors. Die relative Feldstärke ist *ceteris paribus* einfach dem Ausschlag des Galvanometers proportional. Um

¹) LLOYD, Trans. Ir. Ac. 23. 1858; vergl. Encycl. Brit. 16, pag. 160.

²) WEYPRECHT, Prakt. Anl. z. Beob. d. magn. Erschein. in hohen Breiten. Wien 1881.

³) P. MEYER, Ueb. d. Messung homogener Magnetfelder u. s. w. In.-Diss. Heidelb. 1889. Elektrotechn. Zeitschr. 1889, pag. 582.

⁴) Wohl zuerst von VERDET systematisch benutzt, vergl. Compt. rend. 38, pag. 613; 39, pag. 548. 1854.

die Feldstärke in absolutem Maasse zu erhalten, muss man dann noch die Windungsfläche der Spule, den Widerstand des ganzen Stromkreises, sowie Schwingungsdauer, Reduktionsfaktor und Dämpfungsverhältniss des benutzten Galvanometers bestimmen. Man kann die Ermittlung dieser Grössen mit Ausnahme der ersten vermeiden, wenn man in den Stromkreis des Galvanometers und der Spule einen Erdinductor einschaltet und die Ausschläge b und B bei Umlegung der Spule und des Erdinductors (des letzteren z. B. um eine vertikale Axe) nach einander beobachtet¹⁾; sind f und F die Windungsflächen von Spule und Erdinductor, so ist dann die Feldstärke

$$M = \frac{F}{f} \cdot \frac{b}{B} \cdot H.$$

Statt die Spule zu drehen, kann man sie auch aus dem Felde herausziehen. Ferner kann man bei elektrisch erregten Feldern auch den erregenden Strom umkehren, erhält dann aber nicht genau denselben Werth, weil in M die Componente des Erdmagnetismus nach der Richtung von M das eine Mal mit-enthalten ist, das andere Mal aber nicht; soll sie nicht einbegriffen werden, so kann man sie im ersten Falle natürlich leicht in Abzug bringen. Häufig handelt es sich um die Messung des Magnetismus, den bestimmte Körper in Feldern von bestimmter Stärke annehmen, und es können dann beide Grössen (die Ursache und die Wirkung) durch Inductionsströme in je einer besonderen Spule gemessen werden; man sieht leicht ein, wie sich diese Messung dann gestaltet.

3) Dämpfungsmethode. Die Dämpfung der Schwingungen, welche ein Leiter in einem Magnetfelde erfährt, ist nicht unbeträchtlich; ihr logarithmisches Decrement, das sich sehr genau ermitteln lässt, ist dem Quadrate der Feldstärke proportional; diese übrigens zeitraubende Methode ist überdies immer nur für sehr starke Felder anwendbar²⁾.

4) Optische Methode. Sie beruht auf der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichts, die mit der Feldstärke und der Dicke der — in der Richtung der Kraftlinien — durchsetzten Schicht proportional ist; zur absoluten Auswerthung dient die für Schwefelkohlenstoff sehr genau bekannte Drehung für die Feldstärke 1 und die Schichtdicke 1 (VERDET'sche Constante, vergl. w. u.), welche für Natriumlicht und bei 20° in Bogenwerth 1·0000122 oder in Minuten 0·042 beträgt³⁾. Auch diese Methode ist nur für sehr starke Felder genau, für solche aber sehr bequem und überdies vom Erdmagnetismus ganz unabhängig.

5) Wismuth-Methode. Dieses Metall ändert seinen Widerstand im magnetischen Felde nicht unbeträchtlich. Bildet man also aus $\frac{1}{2}$ —2 m sehr feinem Draht eine ebene Spirale (die man zum Schutze beiderseits mit Glimmerscheiben bedeckt) und aicht man sie in Feldern, deren Stärken bekannt sind, so kann man sie nach LENARD⁴⁾, zumal sie sich auch in längerer Zeit wenig oder gar nicht verändern, nunmehr zum Ausmessen von unbekanntem Feldern

¹⁾ Vergl. z. B. VON ETTINGHAUSEN u. NERNST, Rep. d. Phys. 23, pag. 111. 1887, sowie QUINCKE, WIED. ANN. 24, pag. 347. 1885.

²⁾ Vergl. z. B. GRAY, Phil. Mag. (5) 16, pag. 144. 1883, und LUGGIN, Wien. Ber. 95, pag. 646. 1887.

³⁾ GORDON, Trans. Lond. Soc. 1, pag. 1. 1877. — RAYLEIGH, Proc. Lond. Soc. 37, pag. 146. 1884. — H. BECQUEREL, Compt. rend. 100, pag. 1374. 1885. — ARONS, WIED. ANN. 24, pag. 161. 1885. — KÖPSEL, WIED. ANN. 26, pag. 456. 1885.

⁴⁾ LENARD u. HOWARD, El. Z. 9, pag. 340. 1888. — LENARD, WIED. ANN. 39, pag. 619. 1890.

benutzen und dabei diejenige Genauigkeit erreichen, durch die sich Widerstandsmessungen auszeichnen. Als Strom kann man einen constanten, noch bequemer aber einen Wechselstrom benutzen, der die Anwendung des Telephons gestattet; die Aichung muss aber alsdann in gleicher Weise ausgeführt worden sein. In anderer Form, nämlich mit Wismuthplättchen oder mit Spiralröhren, die mit geschmolzenem Wismuth gefüllt sind, hat schon vorher resp. gleichzeitig LEDUC¹⁾ die Methode empfohlen und Formeln für sie entwickelt.

6) Quecksilber-Methode. Von LIPPMANN²⁾ ist ein »Quecksilbergalvanometer« angegeben worden, bestehend aus einer horizontalen Quecksilberröhre oder Schicht, welche in der einen Querrichtung von dem Magnetfelde, in der anderen von einem Strom durchsetzt wird; in der einen von zwei vertikalen Röhren, in welche die Quecksilberwanne ausläuft, tritt dann ein Ansteigen auf, und aus dem gehobenen Gewicht lässt sich bei gleich bleibender Stromstärke ein Rückschluss auch die Feldstärke ziehen. Die Methode erfordert sehr feine Höhenmessungen (die allerdings nach LEDUC³⁾ durch Hinzufügung einer Wassersäule erleichtert werden können), einen heiklen Apparat und ein kräftiges Feld. Hierher gehört auch das patentirte Instrument von MIOT⁴⁾.

7) Elektromagnetische Methode von STENGER⁵⁾. Eine kleine Spule hängt bifilar an zwei Drähten, die zugleich den Strom zuführen; die Windungsebenen sind den — als horizontal vorausgesetzten — Kraftlinien des Feldes parallel. Aus der Ablenkung α durch den Strom i , der bifilaren Directions-kraft D und der Windungsfläche f ergibt sich die Feldstärke

$$M = \frac{D \operatorname{tang} \alpha}{fi}.$$

Die Methode ist sehr empfindlich und gestattet Feldstärken bequem bis auf 0.1% ihres Werthes zu messen.

8) Elektromagnetische Wägungsmethode von ÅNGSTRÖM⁶⁾. Statt wie bei STENGER die Spule bifilar aufzuhängen und ihre Ablenkung zu messen, kann man die Wirkung des Feldes auf die mit einer Waage in Verbindung gebrachte Spule auch durch Gewichte compensiren und erhält dann eine ähnliche Formel für die Feldstärke.

9) Magnetisch-hydrostatische Methode von QUINCKE⁷⁾. Sie beruht auf den Druckkräften, welche in stark magnetisirebaren Flüssigkeiten im magnetischen Felde auftreten und bei geeigneter Anordnung durch Steighöhen gemessen werden können, nachdem die Beziehung zwischen Feldstärke und Steighöhe einmal tabellarisch niedergelegt ist.

Das zu messende Feld kann entweder homogen sein, oder seine Stärke kann von Ort zu Ort variiren; ersteres ist näherungsweise beim Erdmagnetismus in kleinen Gebieten ohne lokale Besonderheiten der Fall, ferner bei manchen künstlichen Feldern, z. B. zwischen zwei ungleichnamigen, ebenen, parallelen Polflächen, deren Abstand gegen ihre Fläche nicht gross ist, sowie im mittleren Raume einer HELMHOLTZ'schen Tangentenbussole (pag. 213, Fig. 47), letzteres bei den meisten künstlichen Feldern, z. B. in der Umgebung eines

¹⁾ LEDUC, Journ. de Phys. (2) 6, pag. 184. 1887; Lum. él. 28, pag. 422. 1888.

²⁾ LIPPMANN, Compt. rend. 98, pag. 1256; J. de Phys. (2) 3, pag. 384. 1884.

³⁾ LEDUC, J. d. Phys. (2) 6, pag. 184. 1887.

⁴⁾ MIOT, Z. f. Instr.-K. 1889, pag. 80.

⁵⁾ STENGER, WIED. Ann. 33, pag. 312. 1888.

⁶⁾ ÅNGSTRÖM, Rep. d. Phys. 25, pag. 383. 1889.

⁷⁾ QUINCKE, WIED. Ann. 24, pag. 347 u. 606. 1885.

Magnetpols; und in gewissen Fällen, z. B. in der Umgebung der Pole eines Hufeisenmagneten ist die Aenderung der Feldstärke von Punkt zu Punkt sehr gross und rasch. Im Princip macht das für die Anwendung der meisten obigen Methoden natürlich keinen Unterschied aus, nur müssen die Messapparate, wenn ein nicht homogenes Feld in seinen verschiedenen Theilen »durchgemessen« werden soll, von möglichst knapper Grösse sein, um ein einigermaassen genaues Bild der Feldstärke zu liefern; für Inductionsspulen und für LENARD'sche Wismuth-Spiralen z. B. wird man mit möglichst kleinem Durchmesser (1—2 *cm*) auszukommen suchen und, um trotzdem die für die Empfindlichkeit wichtige grosse Windungsfläche resp. Stromstärke zu erhalten, feinen Draht wählen. Benutzt man bei der Wismutspirale das Telephon, so kann man die Verschiedenheit der Theile eines Feldes geradezu mit dem Ohre verfolgen, und in ähnlicher Weise kann man für das Auge ein direktes Bild der Vertheilung der Feldstärke nach der QUINCKE'schen Methode aus der Oberflächengestalt der magnetisirten Flüssigkeit gewinnen, freilich ein Bild, das durch Kapillareinflüsse getrübt ist und erst durch Rechnung von ihnen befreit werden kann.

Ueber die ausser der Intensität noch zu messende Richtung eines Magnetfeldes werden wenige Worte genügen. Das einfachste Verfahren ist natürlich die Beobachtung der Einstellung einer kleinen Nadel. Hiervon abgesehen liefern die meisten der obigen Methoden auch die Feldrichtung auf direktem oder indirektem Wege und zwar, wie man es allgemein ausdrücken kann, dadurch, dass die zum Zwecke der Intensitätsmessung beobachtete Wirkung für eine bestimmte Richtung — eben die Richtung des Feldes — am grössten wird, z. B. der Inductionsstrom in der gedrehten oder verschobenen Spule, die Widerstandsänderung des Wismuths u. s. w.

Weitere magnetische Messungen.

Specifischer Magnetismus. Zu den wichtigsten magnetischen Messungen gehört diejenige der magnetischen Constanten der Stoffe (Susceptibilität, Permeabilität, specifischer Magnetismus u. s. w.), wofür zahlreiche besondere Methoden und Apparate angegeben worden sind. Man sehe hierüber jedoch im Art. »Magnetische Induction« sowie im Art. »Magnetismus der verschiedenen Körper«.

Diamagnetische Messungen. Für schwach magnetische Körper müssen die obigen Methoden vielfach modificirt oder durch andere ersetzt werden. Man sehe hierüber im Art. »Magnetismus verschiedener Körper«.

Tragkraft. Die älteste und augenfälligste Methode, sich über die Stärke von Magneten zu orientiren, besteht in der Beobachtung ihrer Tragkraft; geht man aber daran, diese Beobachtung zu einer Messung zu gestalten, d. h. will man aus der gemessenen Tragkraft eine Messung der Stärke des Magnetismus ableiten, so stösst man auf mannigfaltige Schwierigkeiten, welche zur Folge gehabt haben, dass diese Methode durch die übrigen völlig verdrängt worden ist. Die wissenschaftliche Brauchbarkeit einer Methode zur Messung des Magnetismus setzt, wenn sie auf der Beobachtung einer Wirkung dieses Magnetismus beruht, zunächst voraus, dass die Gesetze bekannt sind, nach denen diese Wirkung von der Ursache abhängt; für die Ablenkung, die Inductionswirkung, die Drehung der Polarisationssebene des Lichts u. s. w. ist dies der Fall, und deshalb kann man durch Beobachtung dieser Wirkungen ihre Ursache messen; für die Tragkraft gilt es aber, mindestens in irgendwie allgemeinerem Umfange, noch nicht; die bezüglichen Untersuchungen haben demgemäss vorläufig eine Bedeutung nur für die Feststellung der Gesetze der Tragkraft, worüber später

einiges angeführt werden wird. Dasselbe gilt auch von den verwandten Abreiss- und Frictionsmethoden. Das Eine muss jedoch zugegeben werden, dass die Methode der Messung von Magnetstärken durch die Tragkraft u. s. w., wenn einmal durch allgemeine Formeln fundirt, ihrer Bequemlichkeit wegen und weil sie auf die verschiedensten Magnetformen anwendbar ist, neben den übrigen Methoden ihren besonderen Werth behaupten würde. Einige Literaturangaben findet man im Art. »Magnetische Induction«, zahlreichere bei G. WIEDEMANN¹⁾.

Messung der Vertheilung des Magnetismus. Die Methoden, welche dazu dienen, den Magnetismus eines Körpers, z. B. eines Stabes, zu messen, können natürlich auch zur Messung des Magnetismus seiner einzelnen Theile, z. B. Längselemente, dienen; nur müssen hier die betreffenden Messapparate (gerade wie bei der Ausmessung eines Feldes) möglichst klein gewählt sein, und sie müssen überdies dem zu untersuchenden Theil möglichst nahe gebracht werden, damit die störende Einwirkung der übrigen Theile relativ möglichst klein ausfalle. Einigermassen erfüllbar ist diese Bedingung bei kleinen Magnetnadeln (vergl. hierüber oben) und bei ganz flachen über die Stäbe zu schiebenden Inductionsspulen.

Zu den die Vertheilung des Magnetismus betreffenden Aufgaben gehört insbesondere auch die Ermittlung der Axe und die Bestimmung des Polabstandes, wörtüber noch einiges anzuführen ist.

Ermittlung der Axe eines Magneten. Die Richtung der magnetischen Axe eines stabförmigen Magneten fällt meist nicht genau mit seiner geometrischen Axe zusammen, eine Asymmetrie, welche bei den obigen Methoden durch Umlegung des Stabes — so dass seine obere Seite zur unteren wird — eliminirt werden musste. Durch dieses Verfahren ergibt sich nun auch zugleich die Richtung der Axe, nämlich als die mittlere Richtung zwischen den beiden Richtungen, welche die geometrische Axe des horizontal beweglichen Stabes in beiden Fällen annimmt. Weniger einfach ist die Ermittlung bei einem nicht-stabförmigen Magneten, z. B. einer Kugel, einem Ellipsoid oder einem unregelmässig geformten magnetischen Mineral. Man hängt einen solchen Magneten an irgend einem seiner Punkte auf, markirt auf seiner Oberfläche die Schnittlinie der Meridianebene, hängt nun den Körper umgekehrt auf, d. h. an dem Punkte, an welchem die erste Aufhängelinie die Oberfläche zum zweiten Male schneidet, bestimmt wieder den Meridianschnitt und markirt die Halbirungsebene dieser beiden Schnitte; verfährt man nun ebenso mit zwei anderen gegenüberliegenden Oberflächenpunkten, so erhält man eine neue Halbirungsebene; die Schnittlinie der beiden Halbirungsebenen ist die magnetische Axe.

Diesem Verfahren liegt die Auffassung der Axe als Symmetrieaxe zu Grunde. Man kann sie aber auch als diejenige Richtung definiren, in welcher das als Richtungsgrösse aufgefasste magnetische Moment seinen grössten Werth erreicht. Man lässt alsdann den Körper auf eine kleine Nadel ablenkend wirken und dreht ihn so lange, bis diese Ablenkung ein Maximum wird; es ist dann die Axe die Verbindungslinie der Mittelpunkte von Magnet und Nadel oder die darauf senkrechte Richtung, je nachdem sich der Magnet in der ersten oder in der zweiten Hauptlage befindet.

Das Ablenkungsverfahren liefert zugleich auch die Werthe des Momentes nach irgend einer Richtung, also insbesondere die Componenten des mag-

¹⁾ G. WIEDEMANN, Elektricität, 3. Aufl., Bd. 3, pag. 587 u. 632.

netischen Moments nach den drei auf einander senkrechten Axen eines beliebig gewählten Coordinatensystems, und aus diesen Grössen, M_1 , M_2 , M_3 ergeben sich dann wiederum rückwärts die Grösse des Hauptmoments, nämlich $M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_3^2}$ und die Richtung, in welcher dieses Moment stattfindet, d. h. die magnetische Axe, nämlich als diejenige Richtung, welche mit den Coordinaten Winkel bildet, deren Cosinus M_1/M , M_2/M , M_3/M sind; man braucht also zur Ermittlung der Axenrichtung nicht lange herumzuprobiren, sondern kommt mit Beobachtungen in drei auf einander senkrechten Richtungen aus.

Messung des Polabstandes. In vielen Fällen, z. B. bei den meisten obigen magnetischen und erdmagnetischen Messmethoden genügt es, der Vertheilung dadurch Rechnung zu tragen, dass man den Polabstand einführt; man macht dabei nur die im vorherigen Artikel (pag. 46) bezeichneten Vernachlässigungen. Die Methoden zur Bestimmung des Polabstandes ergeben sich aus dem Früheren grösstentheils von selbst; nur muss man sich bei jeder dieser Methoden klar darüber sein, welche Bedeutung die durch sie ermittelten Pole haben, d. h. ob es die magnetischen Schwerpunkte oder die äquivalenten Pole sind (s. o. pag. 47). Die nächstliegende¹⁾ besteht in der Messung der Ablenkung, die der betreffende Magnet aus einer bestimmten Entfernung auf irgend eine Nadel ausübt, und Vergleichung des Resultates mit der diese Ablenkung darstellenden, ausser der Entfernung und dem Moment des Stabes auch seinen Polabstand enthaltenden theoretischen Formel; den Polabstand der sehr kurz zu wählenden Nadel, der ebenfalls auftritt, kann man einmal gleich Null, ein zweites Mal gleich ihrer Länge setzen und findet dann zwei Grenzwerte für den Polabstand des Stabes. Beobachtet man aus zwei Entfernungen, so erlangt man den Vortheil, die Berechnung des Polabstandes ohne Kenntniss des magnetischen Momentes ausführen zu können. Auch kann man nach KOHLRAUSCH²⁾ den Magneten auf zwei Magnetometer, zwischen denen er aufgestellt ist, aus zwei Lagen wirken lassen, wodurch man von den bekannten störenden Einflüssen unabhängiger wird. Eine fernere Methode besteht darin, dass man den Magneten zur Nadel einer Tangentenbussole macht und die Abweichung vom Tangentengesetz ermittelt (vergl. pag. 207 ff.); wendet man dabei nach KOHLRAUSCH zwei verschiedene concentrische Stromspulen an und giebt ihnen ihren Radien umgekehrt proportionale Windungszahlen, so kann man diesem Verfahren eine Gestalt geben, in welcher es besonders genau, bequem und von äusseren Störungen unabhängig ist. — Von anderen, älteren Methoden seien hier nur zwei angeführt. Bei der einen bestimmt man, etwa durch Vorbeiführen einer Inductionsspule, das Moment des mittelsten Stückes des Stabes und berechnet den Polabstand auf Grund der Annahme, dass er sich zur Länge dieses Stückes verhalte wie das ganze Moment zu jenem Theilmoment³⁾. Bei der freilich bedenklichen und deshalb jetzt wieder verlassenen Methode von PETRUSCHEWSKY⁴⁾ hängt man den Stab bifilar auf, so dass er sich nur nach der einen Seite erstreckt, nach der anderen aber durch ein Gegengewicht äquilibrirt ist, bringt eine kleine Magnetnadel der Reihe nach seinen verschiedenen Punkten gegenüber und sucht denjenigen Punkt auf, dem gegenüber

1) SCHNEEBELI, Progr. d. Polytechn. Zürich 1871/72.

2) KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 22, pag. 411. 1884.

3) G. WIEDEMANN, Elektr. 3, pag. 404.

4) PETRUSCHEWSKY, POGG. Ann. 152, pag. 42. 1874.

die Nadel die stärkste ablenkende Kraft ausübt. Dieser Punkt ist näherungsweise der eine Pol; der andere Pol muss streng genommen in den Drehpunkt fallen, so dass man, da man dies von vornherein nur roh erzielen kann, den Versuch mit der nun bekannten Pollage wiederholen muss, um einen genaueren Werth derselben zu finden¹).

F. AUERBACH.

Erdmagnetismus.

Einleitung. Es ist bereits in dem Art. »Magnetismus« auf die Thatsache hingewiesen und von ihr allenthalben Gebrauch gemacht worden, dass die Erde auf magnetische Körper eine in jedem Falle der Grösse und Richtung nach ganz bestimmte Kraft ausübt; man nennt diese Kraft oder den sie verursachenden Zustand der Erde den Erdmagnetismus. Auch über die Messung dieser Kraft der Grösse und Richtung nach ist in dem Art. »Magnetische Messungen« das Erforderliche auseinandergesetzt worden. Es bleibt daher nur noch übrig, die Ergebnisse jener Messungen zu betrachten und zu sehen, ob sich die festgestellten Thatsachen unter dem Gesichtspunkte einer bestimmten Theorie darstellen lassen. In Bezug auf die Thatsachen, also die Intensität des Erdmagnetismus und seine beiden Richtungswinkel, die Deklination und die Inklination, sowie die Aenderungen dieser Grössen mit Ort und Zeit besitzt man gegenwärtig, dank den Arbeiten dieses Jahrhunderts, schon eine einigermaassen übersichtliche, wenn auch von der Vollständigkeit und erreichbaren Genauigkeit noch weit entfernte Kenntniss. In Bezug auf die Theorie der Erscheinungen hingegen können alle bisherigen Untersuchungen nur als Hypothesen oder Versuche bezeichnet werden; man weiss wohl, in welcher Weise aus einer bestimmten zu Grunde gelegten Vorstellung die Erscheinungen sich folgern lassen, ob aber jene Vorstellungen resp. welche von ihnen der Wahrheit am nächsten kommt und welcher specielle physikalische Sinn ihnen beizulegen sei, dafür fehlen noch die entscheidenden Anhaltspunkte, und es ist auch vorläufig nicht abzusehen, auf welchem Wege sie sich einmal werden gewinnen lassen.

Die Lehre vom Erdmagnetismus nimmt eine Mittelstellung zwischen der Physik und der Meteorologie ein; da sie aber in letzterer nicht behandelt zu werden pflegt, ist es nothwendig, hier das Wichtigste darüber in Kürze zusammenzustellen²).

Oertliche Vertheilung.

Isomagnetische Linien. Jedem Orte auf der Erdoberfläche entspricht ein bestimmter Werth der drei erdmagnetischen Elemente, d. h. der Deklination der Inklination und der Horizontalintensität (natürlich können auch noch verschiedene andere Grössen als die drei Charakteristika gewählt werden, s. w. u.).

¹) Eine andere Methode s. bei BÖRGEN, Ann. d. Hydrogr. 1891, pag. 49, 57, 93. 1891.

²) Seit LAMONT's Handb. des Erdmagnetismus (Berlin 1849) ist eine umfassende Darstellung der Lehre nicht mehr erschienen. Kurze Artikel findet man u. A. in GÜNTHER's Lehrq. d. Geophysik, Bd. 2, in der Encycl. Britannica, Bd. 16 (Meteorology) und in dem Text zur neuen Auflage von BERGHAUS' physikalischem Atlas (von NEUMAYER).