



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

VI. Magnetismus.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

VI. Magnetismus.

132. **Magnetismus.** Manche Stücke eines in der Natur vorkommenden Eisenerzes, des Magneteisensteins (Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4), besitzen die Eigenschaft, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten. Man nennt diese Eigenschaft Magnetismus, und ein Stück jenes Eisenerzes, welches sie besitzt, heißt ein natürlicher Magnet. Durch Berühren oder Bestreichen mit einem Magnet kann man den Magnetismus vorübergehend im Eisen und dauernd im Stahl hervorrufen und letzteren dadurch zu einem künstlichen Magnet machen (Magnetisierung). Bestreut man einen magnetisch gemachten Stahlstab (Magnetstab) mit Eisenfeile, so bleibt dieselbe, Bärte bildend, vorzugsweise an seinen Enden hängen, während gegen die Mitte hin immer weniger und in der Mitte selbst gar keine Eisenfeile haftet; die beiden Punkte in der Nähe der Enden, nach welchen die Anziehungskraft gerichtet ist, nennt man die Pole, die Mitte, wo keine Anziehung stattfindet, den Äquator (neutrale oder indifferente Stelle) des Magnets; die Verbindungslinie der beiden Pole heißt die magnetische Achse.

Wird ein Magnetstab in seiner Mitte an einem Kokonfaden aufgehängt, so daß er sich in wagerechter Ebene drehen kann, so stellt sich seine Achse vermöge einer Einwirkung, welche die Erde als Ganzes auf ihn ausübt, in eine Richtung ein, welche von der Süd-nordrichtung (dem geographischen Meridian) nur wenig abweicht; derjenige seiner Pole, welcher sich stets nach Norden wendet, heißt deshalb der Nordpol, der andere der Südpol.

Nähert man dem aufgehängten Magnetstab einen zweiten, so zeigen Nord- und Südpol auch in der Weise ein entgegengesetztes Verhalten, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

133. **Molekularmagnete.** Bricht man einen Magnet (z. B. eine magnetisierte Stricknadel) mitten entzwei, so bildet jedes Bruchstück wieder einen vollständigen Magnet mit zwei ungleichnamigen Polen, indem an der Trennungsstelle zwei neue Pole entstehen, deren jeder mit dem bereits vorhandenen des zugehörigen Bruchstücks ungleichnamig ist. Wie weit man diese Teilung auch fortsetzen mag, jedes noch so kleine Bruchstück eines Magnets erweist sich wieder als vollständiger Magnet mit zwei gleich starken Polen. Dieses Verhalten berechtigt zu der Annahme, daß jedes kleinste Teilchen oder Molekül eines Magnets selbst schon ein Magnet mit zwei entgegen-

gesetzten Polen, ein „Molekularmagnet“, sei. Diese Annahme enthält keinen Widerspruch gegen die Tatsache, daß die magnetische Wirkung nur an den Enden eines Magnetstabes sich offenbart, sondern gibt davon vielmehr befriedigende Rechenschaft. Denkt man sich nämlich der Einfachheit wegen, ein dünnes Magnetstäbchen bestehe nur aus einer einzigen Reihe von Molekularmagnetchen, deren gleichnamige Pole alle nach derselben Seite gewendet sind, so werden überall auf der ganzen Länge des Stabes zwei entgegengesetzte Pole der benachbarten Molekularmagnete zusammenstoßen, deren anziehende und abstoßende Wirkungen nach außen hin sich gegenseitig aufheben, und nur an den beiden Enden des Stabes werden die freien Pole der äußersten Moleküle wirksam bleiben.

134. **Magnetische Influenz. Koerzitivkraft. Sättigung.** Nähert man dem Nordpol eines Magnets ein Stück weichen Eisens, so wird es sofort selbst zu einem Magnet, indem es an seinem näheren Ende einen Südpol, am entfernteren einen Nordpol bekommt, und vermag jetzt selbst wieder ein zweites, dieses ein drittes usw. Eisenstückchen anzuziehen und zu tragen. Das Eisen wird vom Magnet eben darum angezogen, weil es unter seinem Einfluß (durch Influenz oder nach englischer Ausdrucksweise, durch „Induktion“) selbst zu einem Magnet wird, welcher dem genäherten Magnetpol seinen ungleichnamigen Pol zuwendet. Der Magnetismus des weichen Eisens verschwindet wieder, und die von ihm getragenen Eisenstückchen fallen ab, wenn der influenzierende Magnetpol wieder entfernt wird, oder überhaupt, sobald die magnetisierende Kraft aufhört. Anders verhält sich der Stahl: er wird nicht so leicht magnetisch wie das weiche Eisen; ist er es aber durch anhaltende Einwirkung eines Magnets geworden, so bleibt er magnetisch, auch wenn er von diesem getrennt wird. Die Kraft, mit welcher der Stahl die erhaltene Magnetisierung festhält, heißt die Koerzitivkraft. Sie ist am größten beim härtesten und sprödesten Stahl; beim Anlassen nimmt sie ab und wird durch Erhitzen bis zur Rotglut und allmähliche Abkühlung so gering wie beim weichen Eisen.

Der Vorgang der Magnetisierung eines Stahlstabes mit Hilfe eines anderen Magnets besteht also nicht in einer Übertragung von Magnetismus von dem einen auf einen anderen Körper, wie etwa Wärme bei der Erhitzung von einem Körper auf einen anderen übergeht, sondern in der Erregung des magnetischen Zustandes in dem Stahlstabe durch Influenz und der Festhaltung dieses Zustandes durch die eigentümliche Kraft des Stahles. Dabei reicht wegen der großen Koerzitivkraft des Stahles die bloße Berührung mit einem Magnet zu seiner kräftigen Magnetisierung nicht hin, sondern öfteres Bestreichen ist erforderlich, indem man z. B., in der Mitte beginnend, mit der einen Hälfte des zu magnetisierenden Stabes 10—20 mal über den Nordpol, mit der anderen ebenso öft über den Südpol eines kräftigen Magnets hinstreicht; natürlich erhält die am Nordpol gestrichene Hälfte einen Südpol, und umgekehrt.

Um die Erscheinungen der magnetischen Influenz zu erklären, nimmt man an, daß auch jedes unmagnetische Eisen- oder Stahlstück aus bereits fertig gebildeten Molekularmagneten bestehe, welche jedoch derart regellos gelagert sind, daß nach jeder Richtung ebenso viele Nord- wie Südpole sich wenden und deshalb ihre anziehenden und abstoßenden Wirkungen gegenseitig aufheben. Bei Annäherung eines Magnetpols drehen sich nun die Molekularmagnete so um ihre Schwerpunkte, daß sie dem influenzierenden Magnetpol ihre ungleichnamigen Pole zuwenden, und eben durch diese gleichsinnige Anordnung der Mehrzahl oder aller Molekularmagnete wird das Eisen- oder Stahlstück zu einem nach außen wirksamen Magnet. Im Stahl setzen die Moleküle der Drehung einen beträchtlichen Widerstand entgegen und behaupten ebenso hartnäckig nach der Drehung die neu gewonnenen Lagen, sei es, daß es Kräfte von der Art der Reibung sind, oder die gegenseitige magnetische Kraftwirkung der Moleküle aufeinander, welche sie in ihren Lagen festzuhalten streben. Die Moleküle des weichen Eisens dagegen kehren ebenso leicht wieder in ihre frühere ungeordnete Lage zurück, wie sie dieselbe durch Influenz verlassen haben. Jedes Eisen- oder Stahlstück kann nur bis zu einem gewissen Grad, bis zur Sättigung, magnetisch gemacht werden, welche dann erreicht ist, wenn sämtliche Molekularmagnete in gleichem Sinne gerichtet sind. Für diese Vorstellung von der Natur der Magnetisierung spricht vor allem der Umstand, daß Erschütterungen (Klopfen mit einem Hammer) während der Einwirkung der magnetisierenden Kraft die Magnetisierung eines Eisen- oder Stahlstabes erleichtern und ebenso die Entmagnetisierung befördern, wenn der Stab nicht mehr der Einwirkung einer magnetisierenden Kraft unterliegt.

135. **Magnetfeld. Kraftlinien.** Der Raum um einen Magnet, innerhalb dessen sich seine magnetische Wirkung äußert, heißt das magnetische Feld. Hängt man eine lange magnetisierte Stahl-nadel etwa mit ihrem Südpole an einem Faden auf und bringt ihr nach unten hängendes Nordende in die Nähe eines Magnets, so kann man aus der Ablenkung, die das Pendel aus seiner lotrechten Lage erfährt, auf die mechanische Kraft schließen, die der Nordpol der Nadel im Wirkungsbereiche des Magnets erfährt; der obere Südpol der Nadel sei so weit entfernt, daß die Wirkung des Magnets auf ihn nicht wesentlich in Betracht kommt. Mit einer solchen Vorrichtung findet man, daß an jeder Stelle in der Umgebung des Magnets eine Kraft von bestimmter Richtung und Größe auf den Nordpol der Nadel — wir wollen ihn kurz den „Prüfpol“ nennen — ausgeübt wird. In der Nähe des Nordpols des Magnets ist diese Kraft wegen der Abstoßung vom Magnet fort gerichtet, in der Nähe des Südpols zum Magnet hin gerichtet. Geht man vom Nordpol aus und läßt den Prüfpol sich immer in derjenigen Richtung bewegen, in der die Kraft an der betreffenden Stelle ihn antreibt, so beschreibt der Prüfpol eine Linie, die am Südpol endet.

Man nennt sie eine „Kraftlinie“. Auch eine kleine um ihre Mitte allseitig drehbare magnetisierte Stahlnadel gibt an jeder Stelle des Feldes durch die Richtung, in die sich ihre Längsachse einstellt, die Richtung der daselbst herrschenden Kraft an, vorausgesetzt, daß die Richtkraft, welche die Erde ihrerseits auf die Nadel ausübt, verschwindend klein ist gegen die Wirkung des Magnets oder durch geeignete Mittel (Astasierung, s. u.) ausgeschaltet wird. Folgt man der Richtung der Nadel von Punkt zu Punkt, so bewegt man sich

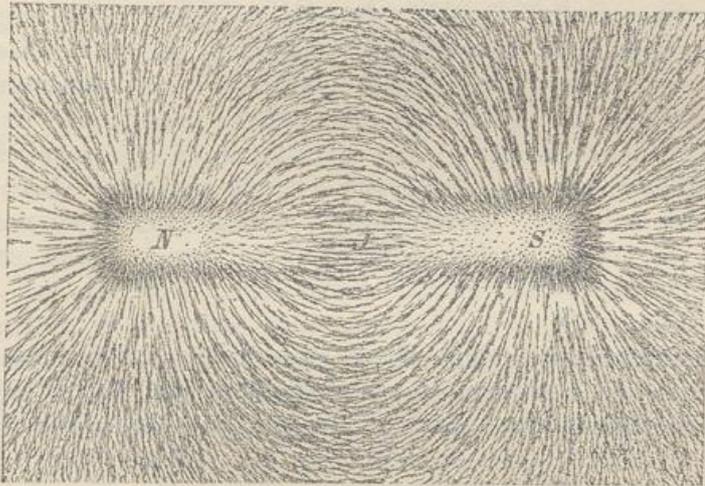


Fig. 127.

Feilichtbild der Kraftlinien eines Magnets.

ebenfalls auf einer Kraftlinie durch das Feld hindurch. Man kann diese Linien im Felde eines Magnets in sehr einfacher und bequemer Weise sichtbar machen, wenn man auf ein über den Magnet gebreitetes Blatt steifen Papiers Eisenfeilspäne siebt. Die Spänchen werden unter dem Einfluß des Magnets selbst zu kleinen Magneten, die sich längs der Kraftlinien aneinanderreihen. So stellt Fig. 127 das auf diese Weise erhaltene Kraftlinienbild eines stabförmigen Magnets dar.

136. **Fernkräfte und Nahwirkungen.** Die Kraftlinien dienen zunächst dazu, die Anordnung und den Verlauf der von einem Magnet auf einen Pol ausgeübten Kraft darzustellen. Sie können aber auch als Veranschaulichung eines eigentümlichen Zustandes aufgefaßt werden, in dem man sich ein der magnetischen Kraft unterworfenen Medium befindlich denken kann. Da nämlich die Eisenfeilspänchen ihre ungleichnamigen Pole einander zuwenden, so entsteht durch ihre gegenseitige Anziehung eine Spannung längs der Kraftlinie; da ferner die Magnetchen zweier benachbarter Kraftlinien, weil hier gleichnamige Pole nebeneinander liegen, sich abstoßen, so entsteht ein Druck quer zu den Kraftlinien, der sie auseinanderzudrängen sucht. Stellt man sich nun vor, daß ebenso wie die Eisenfeilspänchen auch die kleinsten Teile jedes beliebigen Mediums magne-

tisch polarisierbar seien, so würde in jedem Medium eine Längsspannung in Richtung der Kraftlinien wirksam sein, die das Medium in dieser Richtung zu verkürzen sucht, und ein Querdruck senkrecht zu den Kraftlinien, der das Medium in dieser Richtung

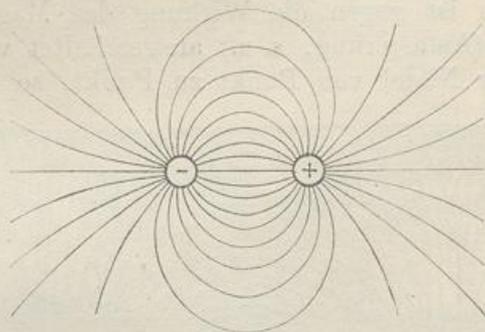


Fig. 128.

Kraftlinien zwischen entgegengesetzten Polen.

auseinanderzutreiben sucht. Diese Spannungen kann man dann als die Ursachen der Bewegungsantriebe ansehen, die zwei Magnete oder Magnetpole aufeinander ausüben. In der Tat, wenn man die Kraft-

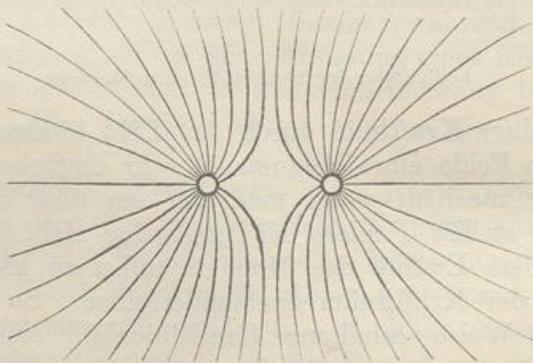


Fig. 129.

Kraftlinien zwischen gleichnamigen Polen.

linien in diesem Sinne als Darstellungen eines Spannungszustandes des die Magnete umgebenden Mediums ansieht, so gibt der Verlauf der Kraftlinien eine anschauliche Vorstellung davon, daß z. B. zwei ungleichnamige Pole (Fig. 128) aufeinander zu- oder zwei gleichnamige Pole (Fig. 129) voneinander weggetrieben werden.

An der Betrachtung der Feilichtbilder hat Faraday (1791 bis 1867) als der erste die Vorstellung entwickelt, daß die Kräfte, welche Magnete aufeinander ausüben, nicht, wie man damals meinte, Fernkräfte wären, d. h. Wirkungen, die von Pol zu Pol durch den Raum hindurch ohne Vermittelung tätig wären, sondern Kräfte, die

durch das den Raum zwischen den Polen erfüllende Medium hindurch von Punkt zu Punkt durch innere Spannungen übertragen würden, (Nahewirkungen), ähnlich wie etwa mechanische Kräfte in festen Körpern durch elastische Spannungen übermittelt werden. Diese Vorstellung beruht offenbar auf der Voraussetzung eines magnetisierbaren oder magnetisch polarisierbaren Zwischenmediums. Nun hat Faraday in der Tat, wie später dargelegt wird, den Nachweis geführt, daß alle Stoffe vom Magnet beeinflußt werden, also magnetisierbar sind. Gleichwohl darf man als den Vermittler der magnetischen Wirkungen nicht ohne weiteres die Materie selber ansehen. Denn ein einfacher Versuch lehrt, daß zwei Magnete auch im leeren Raume ihre Wirkungen ohne merkliche Veränderung aufeinander ausüben. Will man also diese Wirkungen als durch ein Zwischenmedium vermittelt ansehen, so muß man sich vorstellen, daß ein von der gewöhnlichen, wägbaren Materie verschiedenes, magnetisierbares Medium auch im leeren Raume vorhanden sei. Da man die Annahme eines den leeren Raum erfüllenden Mediums schon für die Übertragung der ja auch den leeren Raum durchdringenden Lichtschwingungen hat machen müssen, so liegt die Möglichkeit vor, dem Lichtäther auch die Vermittelung der magnetischen Kräfte zuzuschreiben. Nach dieser Auffassung ist also der Äther der Träger der Spannungen des magnetischen Feldes, und die Materie, die das Feld eventuell ausfüllt, ist nur insofern von Einfluß auf die Erscheinungen, als sie durch ihre magnetische Polarisierbarkeit die im leeren Raum stattfindenden Wirkungen abändert.

137. **Feldstärke. Coulombs Gesetz.** Zur vollständigen Charakterisierung eines Magnetfeldes ist es erforderlich, nicht bloß die Richtung, sondern auch die Größe der Kraft, die an jeder Stelle des Feldes auf einen Prüfpol ausgeübt wird, anzugeben. Man kann zu diesem Zweck die mechanische Kraft, die an dem Prüfpol angreift, mittels einer meßbaren Gegenkraft, etwa der Komponente eines Gewichts oder einer elastischen Kraft, kompensieren. So hat Coulomb (1785) die Kraft, die ein Pol im Felde eines anderen Poles erfährt, mit der Drehwage (S. 94) gemessen. Man kann sich aber auch hierbei, wie oben, der kleinen Magnetnadel bedienen, die sich in die Richtung der Kraft des Feldes einstellt. Wird eine solche Nadel aus dieser Richtung herausgedreht, so wirkt ein Drehungsmoment auf sie, das sie in die Richtung der Kraft zurückzudrehen sucht, und das der Kraft des Feldes, die auf die beiden gleichen Pole der Nadel nach entgegengesetzter Richtung wirkt, direkt proportional ist. Unter dem Einfluß dieses Drehungsmomentes führt die Nadel, wenn man sie frei läßt, Schwingungen um die Kraftrichtung aus nach denselben Gesetzen wie ein Pendel (24). Wie bei diesem Verhalten sich die Schwingungsdauern umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus den wirksamen Kräften. Mißt man also die Schwingungsdauer derselben Nadel an verschiedenen Stellen des Feldes so verhalten sich die Kräfte daselbst umgekehrt wie die Quadrate der

Schwingungsdauern. Auch auf diesem Wege hat Coulomb untersucht, wie sich die Kraft in der Umgebung eines Poles mit dem Abstand vom Pole ändert. Er hat auf diese Weise das nach ihm benannte Gesetz gefunden, daß die Kraft, die ein Pol auf einen zweiten ausübt, dem Quadrat der Entfernung der beiden Pole umgekehrt proportional ist.

Die Kraft hängt aber nicht bloß von dem Feld, sondern auch von dem zur Prüfung des Feldes benutzten Pole ab. Bringt man verschiedene Magnetnadeln an dieselbe Stelle desselben magnetischen Feldes, so sind die Kräfte, die sie erfahren, verschieden, je nachdem die Nadeln schwach oder stark magnetisiert sind. Man sagt, ein Pol ist doppelt so stark wie ein anderer, wenn er an derselben Stelle desselben Feldes einen doppelt so großen Bewegungsantrieb erhält wie jener. Durch Messung der Kraft, die verschiedene Pole in demselben Felde erfahren, kann man also auch die „Polstärken“ miteinander vergleichen. Allgemein ist dann die Kraft, die ein magnetischer Pol in einem magnetischen Felde erfährt, proportional dem Produkt der Polstärke und der Feldstärke, und wenn das Feld von einem zweiten Pole herrührt, so ist es der Stärke dieses zweiten Poles direkt und dem Quadrat des Abstandes von dem Pole umgekehrt proportional, oder

$$F = C \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

wenn F die in Dynen (12) gemessene mechanische Kraft, r den in Zentimetern gemessenen Abstand der beiden Pole von den Stärken m_1 und m_2 bedeuten; C ist dabei eine Konstante, deren Wert offenbar von der Wahl der Einheit abhängt, in der man die Polstärken ausdrückt. Man ist übereingekommen, diese Einheit so zu wählen, daß die Konstante $C = 1$ wird; mit anderen Worten: als Einheit der Polstärke wird diejenige festgesetzt, welche auf einen gleich starken Pol in der Entfernung 1 (1 cm) die Kraft 1 (1 Dyne) ausübt (12).

Das Coulombsche Gesetz ist dann durch die Formel ausgedrückt:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

wobei die Polstärke als positiv oder negativ gerechnet wird, je nachdem der Pol ein Nord- oder Südpol ist. Statt Polstärke sagt man auch „Magnetismusmenge“.

Auf Grund dieser Festsetzung für die Polstärke versteht man unter der Stärke eines magnetischen Feldes diejenige Kraft, welche das Feld auf den Einheitspol ausüben würde, und die Einheit der Feldstärke hat dasjenige Feld, das auf einen Einheitspol mit der Kraft von einer Dyne wirkt. Allgemein wirkt also auf einen Pol von der Stärke m die Kraft:

$$F = m \cdot H,$$

wenn H die Feldstärke ist. Andererseits hat das Feld eines Pols von der Stärke m im Abstand r die Feldstärke $\frac{m}{r^2}$. Das durch diese Bestimmungen festgesetzte System von Maßeinheiten magnetischer Größen bezeichnet man als das absolute magnetische Maßsystem (Gauß, 1832).

138. Niveauflächen, Kraftfluß und Kraftlinienzahl. Flächen, welche die das Magnetfeld durchziehenden Kraftlinien überall senkrecht durchschneiden, heißen Niveauflächen. Längs ihrer Oberfläche herrscht keine magnetische Kraft und kann daher ein Magnetpol ohne Arbeitsaufwand verschoben werden. Dagegen muß Arbeit geleistet werden, um einen Magnetpol der magnetischen Kraft entgegen von einer Niveaufläche auf eine andere zu schaffen.

Als einfachstes Beispiel betrachten wir dasjenige Feld, für welches das Coulombsche Gesetz gültig ist, das Feld eines einzelnen Poles oder richtiger, da es ja keine einzelnen Pole gibt, das Feld in der Umgebung des einen Endes eines sehr langen Magnets. In diesem Felde sind die Kraftlinien gerade Linien, die vom Pole aus nach allen Richtungen ausgehen, und die Niveauflächen sind Kugelflächen, die den Pol zum Mittelpunkt haben.

Denkt man sich auf derjenigen Kugel, deren Radius = 1 cm ist, ein kleines Flächenelement von der Größe q und vom Mittelpunkt Radien nach allen Punkten der Umgrenzung dieses Elements gezogen, so bilden diese Radien einen Kegel, der aus der Niveaufläche vom Radius r ein Stück f von der Größe $q \cdot r^2$ herausschneidet. Nun ist im Abstand r die Feldstärke $H = m/r^2$, wenn m die Polstärke ist. Bildet man das Produkt $H \cdot f$, so ist dieses = $m \cdot q$; es ist unabhängig von dem Abstand r . Man nennt dieses Produkt den Kraftfluß, und man nennt jede, wie der beschriebene Kegel, aus Kraftlinien gebildete Röhre eine Kraftröhre. Das für den Kegel gefundene Gesetz gilt nun ganz allgemein für den Verlauf der Kraft in einem irgendwie gestalteten Magnetfelde. Der Kraftfluß, d. h. das Produkt von Feldstärke und Querschnitt der Röhre, ist längs einer Kraftröhre konstant. An Stellen kleinerer Feldstärke ist also der Querschnitt der Kraftrohre größer, an Stellen größerer Feldstärke ist der Querschnitt kleiner. Die Kraftlinien veranschaulichen uns demnach nicht bloß den Verlauf der Kraft nach ihrer Richtung, sondern auch nach ihrer Größe. Nach den Orten größerer Feldstärke verlaufen sie konvergent, nach denen kleinerer Feldstärke divergent; verlaufen sie parallel zueinander, so hat das Feld in allen Punkten die gleiche Stärke, es ist ein gleichartiges oder homogenes Magnetfeld.

Man kann den Querschnitt einer Kraftröhre so wählen, daß der Kraftfluß = 1 ist, also $f = 1/H$. Eine solche Röhre nennt man eine Einheitsröhre. Denkt man sich eine Niveaufläche in lauter Elemente von solcher Größe zerlegt, daß jedes Element den Querschnitt einer Einheitsröhre bildet, so ist die Zahl der Elemente in $1 \text{ cm}^2 = 1/f$ oder = H . Man kann also die Feldstärke an jeder Stelle eines Magnetfeldes durch die Zahl der Einheitsrohre darstellen, welche 1 cm^2 der Niveaufläche daselbst durchsetzen. Für den Begriff „Einheitsröhre“ aber ist es üblich geworden das Wort „Kraftlinie“ in einem spezifischen Sinne zu gebrauchen, indem man sich gewissermaßen jede Röhre durch eine Linie, etwa ihre Achse, ersetzt denkt. In diesem Sinne wird die Feldstärke ausgedrückt durch die Zahl der Kraftlinien pro Flächeneinheit, oder durch die Dichte der Kraftlinien. Ebenso kann man die Polstärke ausdrücken durch die Zahl der Einheitsrohre oder der Kraftlinien, die von dem Pole ausgehen. Da die Oberfläche der Kugel vom Radius $r = 4\pi r^2$ ist, so ist der gesamte Kraftfluß, der vom Pol mit der Polstärke m ausgeht, = $4\pi r^2 m/r^2 = 4\pi m$ Kraftlinien.

139. Magnetisches Moment. In einem homogenen Feld werden die Pole eines Magnetstabes von entgegengesetzt parallelen gleichen Kräften angegriffen, die ein Kräftepaar bilden, das nur eine drehende, nicht aber eine fortschreitende Bewegung des Magnetstabes bewirken

kann. Ist m die Polstärke und H die Stärke des Feldes, so ist Hm die an jedem Pole wirkende Kraft; bezeichnet ferner l den Abstand der Pole (bei längeren Magneten nahezu $\frac{5}{6}$ der ganzen Länge) und α den Winkel der magnetischen Achse mit der Krafrichtung, so ist $l \sin \alpha$ der Hebelarm des Kräftepaars, und demnach $Hml \sin \alpha$, oder, wenn der Magnetstab zu den Kraftlinien senkrecht steht ($\alpha = 90^\circ$), Hml sein Drehungsmoment. Das Produkt $ml = M$, d. i. das Drehungsmoment, das ein zu den Kraftlinien senkrecht stehender Magnet in einem homogenen Felde von der Stärke 1 erfährt, heißt sein magnetisches Moment.

140. **Wirkung zweier Magnete aufeinander.** Wir beschränken uns auf die Betrachtung des folgenden einfachen Falles. Auf eine in horizontaler

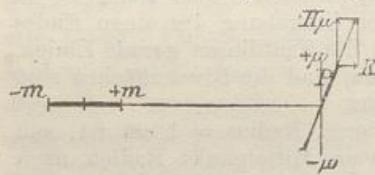


Fig. 130.

Wirkung zweier Magnete.

Ebene drehbare Magnetnadel ($+\mu, -\mu$), welche für sich im magnetischen Meridian einsteht, wirke ein in derselben Horizontal-ebene liegender Magnetstab, dessen Achse senkrecht zum magnetischen Meridian liegt, und mit ihrer Verlängerung die Mitte der Nadel treffen würde (Fig. 130). Die Länge l des Magnetstabes und diejenige der Nadel seien sehr klein im Vergleich zu der Entfernung r ihrer Mittelpunkte. Sind m und μ die Pol-

stärken von Stab und Nadel, so ergibt sich die Kraft K , mit welcher die beiden Pole $+m$ und $-m$ auf den Pol $+\mu$ wirken:

$$K = \frac{m\mu}{(r - \frac{1}{2}l)^2} - \frac{m\mu}{(r + \frac{1}{2}l)^2} = \frac{2m\mu l r}{(r^2 - \frac{1}{4}l^2)^2},$$

oder wenn l so klein ist, daß $\frac{1}{4}l^2$ gegen r^2 nicht in Betracht kommt:

$$K = \frac{2m\mu l r}{r^4} = \frac{2\mu m l}{r^3},$$

oder da $ml = M$ das magnetische Moment des Stabes ist:

$$K = \frac{2\mu M}{r^3},$$

d. h. die Wirkung eines Magnetstabes (zweier entgegengesetzt gleicher miteinander fest verbundener Pole) auf einen entfernten Pol ist annähernd der dritten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional und hängt, wenn r genügend groß gegen l ist, nur von dem Produkte $m \cdot l$ oder von dem magnetischen Momente ab.

Wirkt auf den Pol $+\mu$ der Magnetnadel noch parallel zum magnetischen Meridian die horizontale Richtkraft $H\mu$, wenn H die Horizontalintensität des Erdmagnetismus bedeutet, so wird die Nadel durch die Kraft K aus dem Meridian abgelenkt um einen Winkel φ , bis ihre Richtung mit derjenigen der Resultante aus K und $H\mu$ zusammenfällt. Dies tritt ein, wenn

$$\frac{K}{H\mu} = \tan \varphi \text{ oder } \frac{2M}{r^3} = H \tan \varphi.$$

141. **Das erdmagnetische Feld.** Eine um eine vertikale Achse drehbare Magnetnadel stellt sich an jedem Punkte der Erdoberfläche stets in eine bestimmte Richtung, und führt, daraus ab-

gelenkt, um diese Richtung Schwingungen von ganz bestimmter Dauer aus. Wir schließen daraus, daß wir uns an allen Punkten der Erdoberfläche in einem magnetischen Felde befinden. Daß diese Wirkung nicht eine kosmische, sondern eine tellurische ist, daß also die Erde selbst als ein großer Magnet anzusehen ist, diese Vorstellung ist zuerst von Gilbert (1600) ausgesprochen worden, und hat sich durch alle Untersuchungen über die Verteilung dieser Wirkung auf der Erdoberfläche bestätigt. Wir nennen deswegen dieses Feld das erdmagnetische Feld. Da man als Richtung der Kraftlinien eines Feldes diejenige Richtung bezeichnet, in der ein Nordpol bewegt würde oder nach der der Nordpol einer Nadel hinweist, so müssen wir von den Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes sagen, daß sie von Süden nach Norden verlaufen, und da die Kraftlinien eines Magnets nach obiger Festsetzung über ihre Richtung stets von seinem Nordpol ausgehen und in seinem Südpol endigen, so müssen wir von der Erde sagen, daß sie ihren Südpol im Norden, ihren Nordpol im Süden hat.

Dieser Vergleich der Erde mit einem Magnet läßt sich durch folgenden Versuch veranschaulichen. Hängt man in einiger Entfernung über einer Magnetnadel, welche sich unter dem Einfluß der Erde eingestellt hat einen Magnetstab auf, so wird er sich zur Nadel parallel stellen, und beide, Stab und Nadel, werden mit ihren Nordpolen nach Norden weisen. Wird die Nadel aus ihrer Stellung seitlich abgezogen und wieder losgelassen, so kehrt sie rasch wieder dahin zurück. Senkt man nun den Magnetstab allmählich herab, so bemerkt man, daß bei einer gewissen Höhe des Stabes über der Nadel letztere das Bestreben, sich einzustellen, verliert und, wenn sie seitwärts abgezogen wird, nicht mehr in ihre frühere Stellung zurückkehrt. Senkt man den Magnetstab noch tiefer, so kehrt die Nadel ihre Stellung um und zeigt mit ihrem Nordpol nach Süden. Die Wirkung der Erde auf die Magnetnadel kann also durch einen in geeigneter Entfernung angebrachten Magnet aufgehoben werden. Nähert man, wenn dies erreicht ist, der Magnetnadel einen Magnetstab, dessen Südpol nach Norden gerichtet ist, so bemerkt man, daß ihr Bestreben, sich mit dem Nordpol nach Norden zu wenden, zurückkehrt und bei einer gewissen Entfernung dieses zweiten Stabes dieselbe Größe erlangt wie bei alleiniger Wirkung der Erde. Daraus geht hervor, daß die Erde wie ein Magnet wirkt, dessen Nordpol nach Süden gewendet ist. Die Pole der Erde sind aber von den Magneten, mit welchen wir Versuche anstellen, so weit entfernt, daß die von ihnen auf die Pole einer Magnetnadel ausgeübten Kräfte einander gleich und entgegengesetzt sind. Denn wenn wir eine Magnetnadel mittels eines Korkes auf Wasser schwimmen lassen, so wird sie nur in ihre Nord-Süd-Richtung gedreht, aber nicht nach einer Richtung fortgezogen. Das erdmagnetische Feld ist also innerhalb des Bereiches unserer Magnete als ein homogenes Feld anzusehen.

§ 142. **Astasie.** Eine Magnetnadel, welche in der vorhin angegebenen Weise durch Annäherung eines Magnets mit gleichliegenden Polen der Wirkung des Erdmagnetismus entzogen ist, so daß sie nun jedem Antrieb frei zu folgen vermag, heißt *astatisch* (d. h. „ohne bestimmte Einstellung“). Denselben Erfolg erreicht man auch dadurch, daß man zwei gleich starke Magnetnadeln (Fig. 131) so übereinander befestigt, daß die ungleichnamigen Pole übereinander liegen, und dieses *astatische Nadelpaar* nun frei schweben läßt.

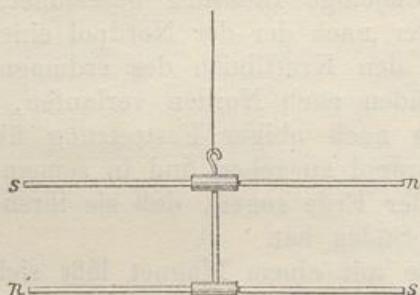


Fig. 131.
Astatisches Nadelpaar.

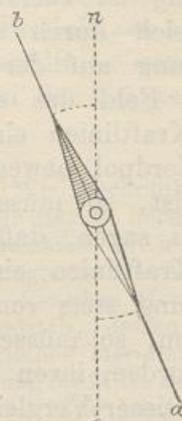


Fig. 132.
Deklination.

143. **Magnetischer Meridian. Deklination.** Die Vertikalebene, welche man sich durch die Achse *ab* (Fig. 132) einer in horizontaler Ebene drehbaren Magnetnadel gelegt denkt, nachdem sich diese unter der Wirkung des Erdmagnetismus eingestellt hat, nennt man den *magnetischen Meridian*; sie bildet mit der genauen Süd-Nordlinie oder dem geographischen Meridian *sn* einen Winkel, welcher die *magnetische Deklination* oder *Abweichung* (Columbus, 1492) heißt. Die Deklination hat an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ungleiche Werte und wird als *östlich* oder *westlich* bezeichnet, je nachdem das Nordende der Nadel nach Osten oder nach Westen von der Süd-Nordlinie abweicht. In unseren Gegenden ist die Deklination westlich und betrug anfangs 1906 in Berlin $9,3^{\circ}$, in München $10,2^{\circ}$, in Paris $14,4^{\circ}$, mit einer jährlichen Abnahme von $0,07^{\circ}$.

Einen Überblick über die Verhältnisse der magnetischen Abweichung auf der Erdoberfläche gewährt die *Deklinationkarte* (Fig. 133), auf welcher alle Orte gleicher Abweichung durch Linien verbunden sind; diese Linien gleicher Deklination nennt man *Isogonen* (Halley, 1700). Alle Isogonen laufen in zwei Punkten zusammen, von denen der eine im nordamerikanischen Eismeer in der Nähe der Melvillehalbinsel, der andere im südlichen Eismeer südlich von Australien liegt, und welche als die *magnetischen Pole* der Erde anzusehen sind. Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche, auf welcher die Magnetnadel genau nach Norden zeigt, geht durch Brasilien, läuft im Osten von Westindien durch den Atlantischen Ozean, um in der Gegend von Kap Hatteras in Nord-

amerika einzutreten und die Hudsonsbai zu durchlaufen. Dann geht sie durch den natürlichen Magnetpol der Erde, trifft Europa östlich vom Nordkap, berührt das schwarze Meer, durchsetzt westlich von Vorderindien den Indischen Ozean, wendet sich sodann nach Australien, um endlich durch den südlichen Magnetpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen. Auf dem Atlantischen Ozean, in Europa und Afrika ist die Abweichung überall eine westliche; auf der anderen, durch die beschriebene Linie abgegrenzten Erdhälfte ist sie eine östliche, mit Ausnahme eines begrenzten Gebietes im östlichen Asien, wo eine zweite, in sich selbst zurücklaufende Linie ohne

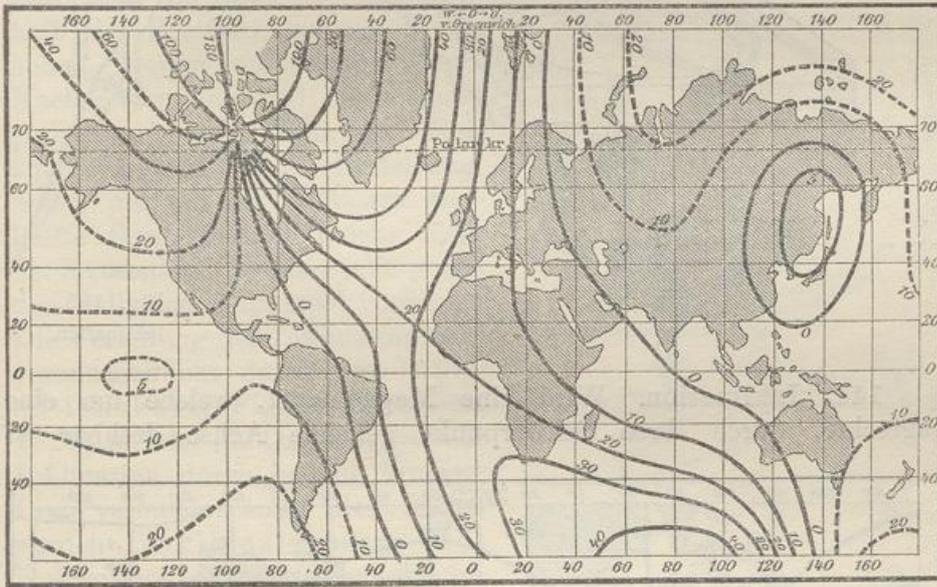


Fig. 133.

Deklinationkarte für 1885.

Abweichung vorkommt, in deren Innern die Deklination wieder westlich ist.

Jede zur Messung der Deklination bestimmte Vorrichtung heißt Deklinatorium. Einen einfachen Apparat dieser Art zeigt Fig. 134. Inmitten eines in Grade geteilten Kreises spielt eine Magnetnadel auf einer Spitze; an der Seite des Gehäuses, welches um eine lotrechte Achse gedreht werden kann, ist ein Fernrohr angebracht, dessen Achse mit dem Durchmesser $0-180^\circ$ des Teilkreises parallel läuft. Hat man den Apparat so gestellt, daß die Nadel auf 0 zeigt, so fällt die Achse des Fernrohrs in den magnetischen Meridian; richtet man dagegen das Fernrohr genau nach Nord oder Süd, so gibt die Spitze der Nadel auf dem Teilkreis die magnetische Abweichung an. Das Instrument wird in der Feldmeßkunst als Bussole zu Winkelmessungen gebraucht, indem die Magnetnadel stets den Winkel angibt, welchen die Visierichtung des Fernrohrs mit dem magnetischen Meridian bildet.

Der Kompaß, welcher den Seefahrern zur Orientierung auf dem Meere dient, besteht aus einer auf einer Spitze schwebenden Magnetnadel, welche eine auf ihr befestigte kreisrunde Papierscheibe (Windrose) trägt, deren Umfang, vom Nordpol der Nadel beginnend, in 32 Teile (Kompaßstriche) geteilt ist; das Ganze befindet sich in einem in Ringaufhängung frei schwebenden Gehäuse. Der Kompaß ist den Chinesen schon lange vor Beginn unserer Zeitrechnung bekannt gewesen.

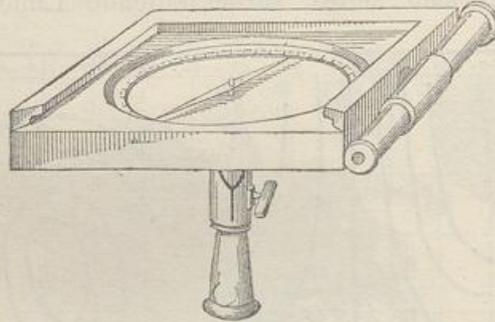


Fig. 134.
Deklinationsbusssole.

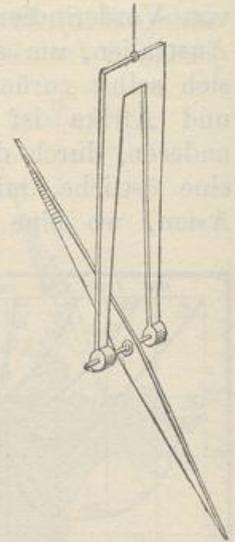


Fig. 135.
Inklination.

144. **Inklination.** Wird eine Magnetnadel, welche um eine wagrechte, durch ihren Schwerpunkt gehende Achse drehbar ist

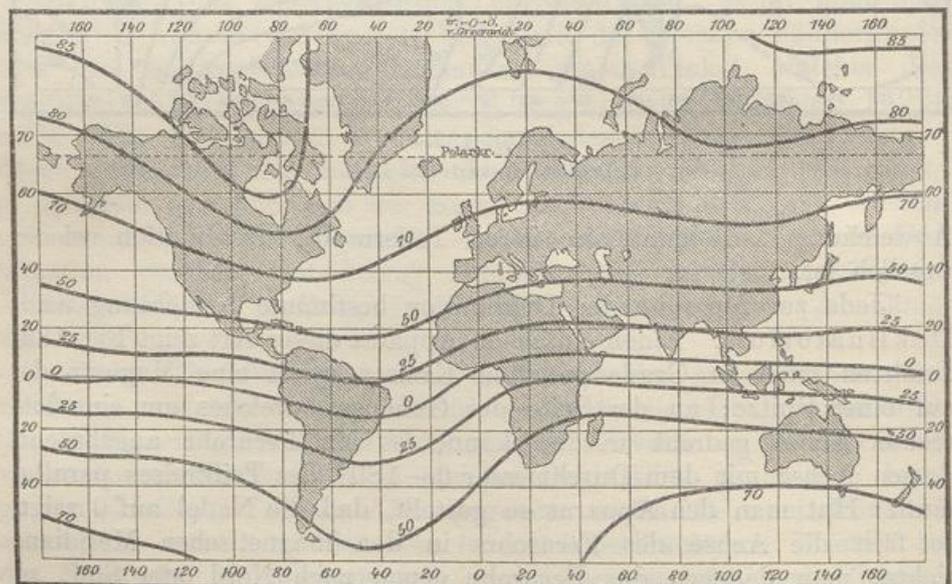


Fig. 136.
Inklinationskarte für 1885.

(Fig. 135), so aufgestellt, daß ihre Drehungsebene in den magnetischen Meridian fällt, so neigt sie sich auf der nördlichen Halb-

kugel der Erde mit ihrem Nordpol, auf der südlichen mit dem Südpol nach abwärts. Der Winkel, unter welchem sie zur wagrechten Ebene geneigt ist, heißt die magnetische Neigung oder Inklination (Hartmann, 1544). Diese Neigung betrug anfangs 1906 in Berlin $66,4^{\circ}$, in München $63,2^{\circ}$, in Paris $64,6^{\circ}$ und nimmt in jedem Jahre um $0,03^{\circ}$ ab. Weiter nach Norden nimmt die Neigung zu; über dem nördlichen Magnetpol der Erde, welchen Kapitän Ross unter $70^{\circ}5'$ nördl. Br. und $96^{\circ}46'$ westl. L. v. Gr. wirklich erreicht hat, stellt sich die Nadel lotrecht, weshalb der Schiffskompaß in diesen hohen Breiten unbrauchbar wird. Nach Süden hin wird die Neigung geringer, in der Nähe des Erdäquators stellt sich die Nadel wagrecht, um auf der südlichen Erdhälfte ihren Südpol immer mehr herabzusenken, je weiter man gegen den südlichen Magnetpol vordringt. Die Verteilung der Inklination wird veranschaulicht durch die Inklinationskarte (Fig. 136; Hansteen, 1826), auf der die Orte mit gleicher Inklination durch je eine krumme Linie verbunden sind; diese Linien werden Isoklinen genannt. Die Nullisokline, längs welcher die Inklinationsnadel wagrecht steht, verläuft in der Tropenzone teils diesseits, teils jenseits des geographischen Äquators; sie wird der magnetische Äquator der Erde genannt. Zur Bestimmung der Inklination kann das Inklinatorium (Fig. 137; Normann 1576) dienen, dessen Einrichtung ohne weitere Erklärung verständlich ist.

145. **Intensität des Erdmagnetismus.** Die Stellung der Inklinationsnadel gibt die Richtung an, nach der an jedem Orte die erdmagnetische Kraft wirkt, gerade so wie ein ruhendes Pendel die Richtung der Schwerkraft angibt. Entfernt man eine Magnetnadel, sei es eine Inklinations- oder eine Deklinationsnadel, ein wenig aus ihrer Gleichgewichtslage, so kehrt sie dahin zurück, nachdem sie eine Reihe von Schwingungen vollführt hat, welche genau dieselben Gesetze befolgen wie die Schwingungen eines Pendels. Läßt man ein und dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten der Erdoberfläche schwingen, so kann man aus der Anzahl der Schwingungen, welche sie in einer Sekunde macht, auf das Verhältnis der erdmagnetischen Kräfte an diesen Orten schließen; diese Kräfte verhalten sich nämlich wie die Quadrate der beobachteten Schwingungszahlen (40). Aus den Schwingungen einer Inklinationsnadel würde man auf diese Weise die

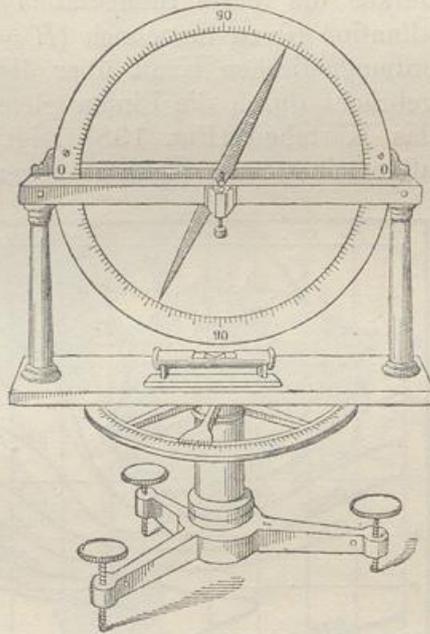


Fig. 137.
Inklinatorium.

ganze erdmagnetische Kraft oder die totale Intensität kennen lernen, während auf die Deklinationsnadel nur der wagrecht gerichtete Anteil der ganzen Kraft, oder die horizontale Intensität einwirkt. Da jedoch eine Deklinationsnadel genauere Beobachtungen zuläßt, als eine Inklinationsnadel, so zieht man es vor, mit Hilfe der ersteren nur die horizontale Intensität (H) unmittelbar zu bestimmen und daraus die totale Intensität (T) mit Rücksicht auf die bekannte Inklination (i) zu berechnen ($H = T \cos i$). Die Verteilung der totalen erdmagnetischen Kraft über die Erdoberfläche wird zur Anschauung gebracht durch die Linien gleicher Intensität oder die Isodynamen; das Kärtchen (Fig. 138) zeigt, daß die erdmagnetische Kraft im allgemeinen vom Äquator gegen die Pole hin zunimmt; den größten

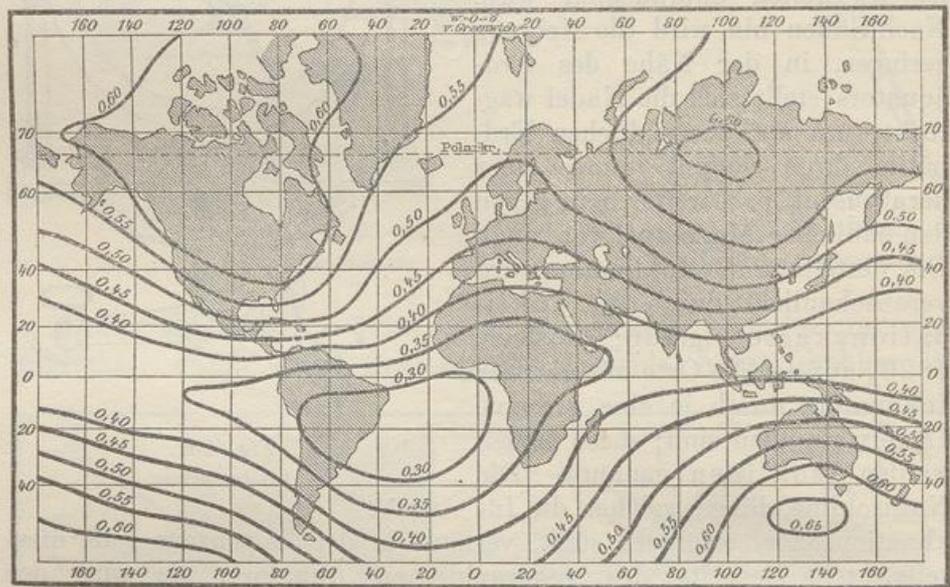


Fig. 138.

Isodynamische Linien für 1885.

Wert erreicht sie jedoch nicht an den magnetischen Polen selbst, sondern auf der nördlichen Halbkugel finden wir zwei Punkte höchster magnetischer Kraft, den einen in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonbai, den anderen im nördlichen Asien. Die beigeschriebenen Zahlen bedeuten die Stärke des erdmagnetischen Feldes, ausgedrückt in dem oben erörterten absoluten Maßsystem (137). Die Horizontalintensität betrug in dieser Einheit anfangs 1906 in Berlin 0,190, in München 0,207, in Paris 0,198; sie wächst jährlich um etwa 0,0002.

Den Kraftlinienverlauf der Horizontalintensität findet man, wenn man auf der Erdoberfläche von einem beliebigen Punkt aus, immer der Richtung der Deklinationsnadel folgend, fortschreitet. Die so erhaltenen Linien, welche man magnetische Meridiankurven nennt, laufen von einem magnetischen Pol der Erde zum andern. Sie sind

in Fig. 139 dargestellt und geben, wie man sieht, besser noch als die Isogonen, ein deutliches Bild von der Verteilung der erdmagnetischen Kraft auf der Erdoberfläche. Die senkrecht dazu gezeichneten Linien sind die Schnitte der Niveaulächen mit der Erdoberfläche.

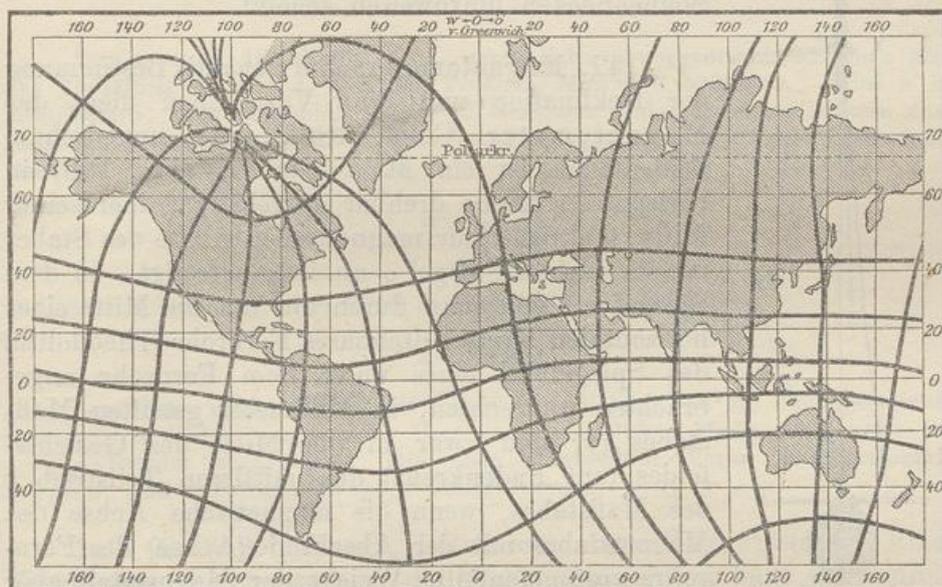


Fig. 139.

Magnetische Meridiankurven für 1885.

146. **Variationen.** Die drei Größen: Deklination, Inklination und Intensität werden die Elemente des Erdmagnetismus genannt, weil durch sie Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft vollständig bestimmt sind. Sämtliche Elemente des Erdmagnetismus behalten auch an ein und demselben Orte nicht den nämlichen Wert, sondern sind Schwankungen unterworfen, welche teils unregelmäßig und plötzlich eintreten, teils regelmäßig täglich oder im Kreislauf vieler Jahre wiederkehren; erstere nennt man Störungen, letztere Variationen. Die täglichen Variationen stehen mit dem täglichen Gang der Sonne in Beziehung; sie betragen nur wenige Minuten. Die säkularen Variationen dagegen können, indem sie im Laufe der Jahre in gleichem Sinne fortschreiten, allmählich zu beträchtlicher Größe anwachsen. So war z. B. in Frankreich 1580 die Deklination $11,5^\circ$ östlich, war 1663 gleich Null, wurde sodann westlich bis zu $22,5^\circ$ im Jahre 1814; seitdem nimmt die westliche Deklination wieder ab. Auch die Inklination zeigt sowohl tägliche als säkulare Änderungen; in Paris war sie 1671 noch 75° , seitdem nimmt sie ab und betrug 1902 nur noch $64,8^\circ$. Ebenso ist die Intensität sowohl täglichen als säkularen Variationen unterworfen.

Von den Störungen weiß man, daß sie mit Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen, namentlich aber mit der Erscheinung des Nordlichtes im Zusammenhange stehen. Außerdem hat man eine

ungefähr 11 jährige Periodizität in den Schwankungen der erdmagnetischen Elemente herausgefunden, die auf einen eigentümlichen Zusammenhang dieser Erscheinungen mit der ebenfalls in einer 11 jährigen Periode schwankenden Häufigkeit der Sonnenflecken hinzuweisen scheint.

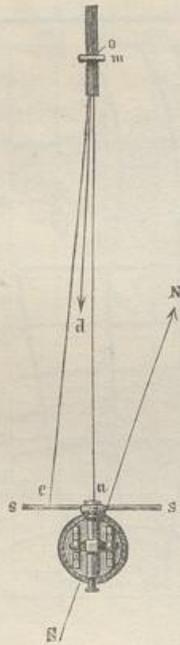


Fig. 140.
Magnetometer.

147. **Magnetometer.** Zur genauen Bestimmung der Deklination und ihrer Variationen dient das Magnetometer (Gauß, 1883). An ungedrehten Seidenfäden ist ein Magnetstab *m* (Fig. 140) in horizontaler Ebene drehbar aufgehängt; über seiner Mitte senkrecht zur magnetischen Achse des Stabes ist ein kleiner Spiegel *o* an ihm befestigt. In dem Spiegel erblickt man durch ein um die Mitte eines horizontalen Kreises drehbares Fernrohr (Theodolith) das Spiegelbild eines unter dem Fernrohr angebrachten wagrechten, in Millimeter geteilten Maßstabes *ss*, und zwar in der Mitte des Gesichtsfeldes (am Fadenkreuz) den mittleren Teilstrich *a* des Maßstabes, wenn die magnetische Achse des Magnetstabes mit der Absehnlinie (Achse) des Fernrohrs zusammenfällt. Weicht der Magnetstab aber ein wenig von dieser Lage ab, so erscheint ein anderer Teilstrich *c* am Fadenkreuz. Aus der so abgelesenen Strecke *ac* und der Entfernung *am* läßt sich der kleine Winkel *amd*, um welchen die Magnetachse von der Linie *am* abweicht, mit großer

Genauigkeit bestimmen, und dann auch mittels des horizontalen Teilkreises der Winkel der Magnetachse mit der bekannten Richtung *NS* des astronomischen Meridians, d. i. die Deklination.

148. **Bestimmung der Horizontalintensität und des magnetischen Moments** (Gauß). Die Messung der Schwingungsdauer einer Magnetnadel an verschiedenen Orten gibt nur ein relatives Maß der Horizontalintensität. Um den absoluten Betrag der Horizontalintensität zu finden, muß man das magnetische Moment des benutzten Magneten und sein Trägheitsmoment kennen. Man verfährt dazu folgendermaßen. Man läßt den Magnetstab, mit dem man die Messung ausführen will, zunächst in der oben (140) erörterten Lage auf eine Magnetnadel einwirken. Dann ist nach der dort entwickelten Formel:

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \tan \varphi.$$

Man findet also das Verhältnis M/H durch Beobachtung der Ablenkung φ bei gemessener Entfernung r .

Hängt man jetzt den Magnetstab ($+m$, $-m$) in seiner Mitte auf, so schwingt er unter dem Einfluß der horizontalen Komponente des Erdmagnetismus wie ein Pendel, dessen Schwingungsdauer t der Gleichung (S. 37 u. 62)

$$t = \pi \sqrt{\frac{k}{MH}}$$

genügen muß, wenn k das Trägheitsmoment des Stabes bedeutet, während MH das an ihm angreifende Drehungsmoment darstellt. Bestimmt man also das Trägheitsmoment k und die Schwingungsdauer t , so hat man

$$MH = \frac{\pi^2 k}{t^2}.$$

Durch jenen Ablenkungs- und diesen Schwingungsversuch hat man also das Verhältnis $M/H = A$ und das Produkt $MH = B$ gefunden. Wird r in Zentimetern, t in Sekunden und k in Grammen und Quadratcentimetern ausgedrückt, so erhält man für A und B und demgemäß auch für die Horizontalintensität

$$H = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

und für das magnetische Moment des benutzten Magnetstabes

$$M = \sqrt{AB}$$

ganz bestimmte Zahlenwerte. Man sagt von diesen, daß sie die Horizontalintensität und das magnetische Moment in absolutem Maße, und zwar im cm-g-sec-System ausdrücken. Die oben mitgeteilten Werte der Horizontalintensität sind auf diesem Wege bestimmt worden.

149. Einfluß (Influenz, Induktion) eines Magnetfeldes. Eine Eisenstange, welche man in die Inklinationsrichtung hält, wird durch den Einfluß des Erdmagnetismus magnetisch, und zwar bekommt sie oben einen Südpol, unten einen Nordpol. Kehrt man die Stange um, so kehren sich auch ihre Pole um. Gibt man dem Stab eine andere Richtung, so wirkt nur die in diese Richtung fallende Komponente der Totalintensität magnetisierend, die um so geringer ist, je größer der Winkel ist, den der Stab mit der Inklinationsrichtung bildet und ganz verschwindet, wenn er auf ihr senkrecht steht. Auf lotrecht gestellte Stäbe, deren Richtung in unseren Gegenden von derjenigen der Inklinationsnadel nur wenig abweicht, ist der magnetisierende Einfluß der Erde noch ziemlich bedeutend. Stahlstäbe, in der Richtung der Inklinationsnadel oder auch nur lotrecht gehalten, werden dauernd magnetisch, namentlich wenn man sie in dieser Stellung hämmert, da, wie oben (134) bereits erwähnt, Erschütterungen die Drehung der Molekularmagnetchen befördern. Daraus erklärt es sich, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers magnetisch sind.

Sehr schön kann man mit Hilfe der Kraftlinien den Vorgang der Magnetisierung des Eisens in einem Magnetfelde veranschaulichen. Legt man dem Nordpol eines Magneten gegenüber ein Stück weiches Eisen, so werden die von dem Pol ausstrahlenden Kraftlinien nach dem genäherten Ende des Eisens hin zusammengezogen, und treten, nachdem sie das Eisen durchsetzt haben, am anderen Ende divergierend wieder aus. Dort, wo die Kraftlinien in das Eisen eintreten, erhält es einen Südpol, hier, wo sie austreten, einen Nordpol. Dieser Verlauf der Kraftlinien führt zu der Vorstellung, daß das Eisen dem

Durchgang der Kraftlinien einen geringeren Widerstand entgegengesetzt oder für sie eine größere Durchlässigkeit (Permeabilität) oder Leitfähigkeit besitzt als die umgebende Luft, und sie deshalb in sich hineinzieht und verdichtet. Fig. 141 stellt das mit Eisenfeilspänen erhaltene Bild der Magnetisierung eines Stückes weichen Eisens in einem Magnetfelde dar.

Auf der beschriebenen Eigenschaft des weichen Eisens beruht seine Anwendung als Armatur oder Anker der Stahlmagnete. Legt

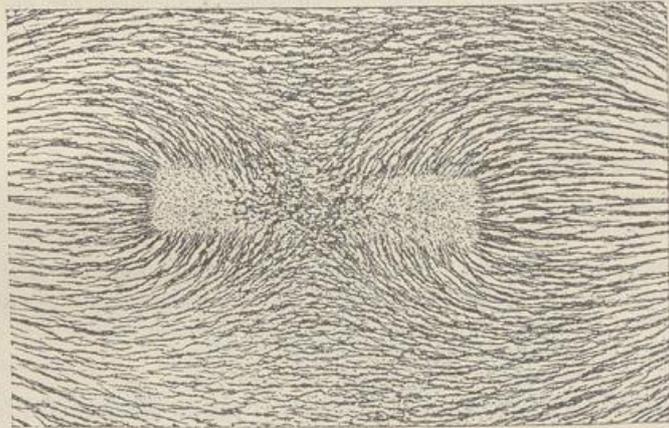


Fig. 141.

Feilichtbild eines Eisenstückes in einem Magnetfeld.

man an die beiden Pole eines Magnetstabes Stücke weichen Eisens und verbindet diese untereinander wieder durch Stücke weichen Eisens, so geht der Kraftstrom von dem einen Pol zu dem anderen zum größten Teil durch diese geschlossene Bahn von weichem Eisen. Die

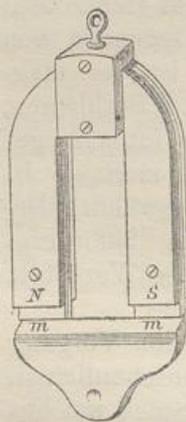


Fig. 142.

Hufeisenmagnet mit Anker.

Wirkung des Magneten nach außen hin ist dadurch aufgehoben oder wenigstens beträchtlich vermindert. Man sagt von einem so „armierten Magneten“, er sei in sich geschlossen. Der magnetische Schluß hat den Vorteil, daß der Magnet solchen Einwirkungen, die seine Magnetisierung zu schwächen imstande sind, in geringerem Maße unterworfen ist. Man versieht daher permanente Magnete, um sie möglichst unverändert zu erhalten, bei der Aufbewahrung stets mit einer Armatur.

Um mit permanenten Magneten starke magnetische Felder zu erzielen, gibt man ihnen die Form eines Hufeisens, so daß die beiden entgegengesetzten Pole nahe beieinander liegen. Zwischen ihnen konzentrieren sich dann die Kraftlinien zu besonderer Dichte.

Größere Magnete werden der besseren Durchmagnetisierung wegen aus einzelnen hufeisenförmigen Stahlplatten gefertigt, die man mit gleichnamigen Polen aufeinanderlegt und zusammenschraubt; einen so zusammengesetzten Magnet (Fig. 142)

nennt man ein magnetisches Magazin (Lamellenmagnet, Blättermagnet).

Die Tragkraft eines Magnets, welche man durch Belasten des Ankers mit Gewichten erprobt, wächst keineswegs im nämlichen Verhältnis wie seine Masse, sondern weit langsamer; sie ist nach Häcker (1842) der Kubikwurzel aus dem Quadrate seines Gewichts proportional. Während ein 60 g schwerer Magnet das 25 fache seines Gewichts trägt, vermag einer von 50 kg nicht einmal das Dreifache und einer von 1000 kg kaum noch sein eigenes Gewicht zu tragen.

Die genauere Untersuchung der magnetischen Eigenschaften des weichen Eisens und anderer Stoffe ist nur mit Hilfe elektrischer Ströme möglich (s. unten).