universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Elementare Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus

Thompson, Silvanus Phillips

Tübingen, 1897

Kapitel II. Magnetismus

urn:nbn:at:at-ubi:2-6344

KAPITEL II.

MAGNETISMUS.

VIII. VORLESUNG: *Magnetische Anziehung und Abstossung.*

84. Natürliche Magnete. Der Name Magnet *(Magnes Lapis)* wurde von den Alten gewissen harten, schwarzen Steinen zuerteilt, welche man in verschiedenen Gegenden fand, besonders bei *Magnesia* in Kleinasien, und welche die Eigenschaft besassen, kleine Eisen-Stücke anzuziehen. Diese nach ihren Begriffen magische Eigenschaft machte den Magnetstein berühmt; doch erst im 10. oder 12. Jahrhundert entdeckte man, dass solche Steine die noch merkwürdigere Eigenschaft besässen, nach Norden, resp. Süden zu zeigen, falls man sie an einem Faden aufhing. Letztere Eigenschaft benutzte man bei der Schiffahrt [1]). Der natürliche Magnet ist ein Eisenerz, welches den Mineralogen unter dem Namen *Magnetit* bekannt ist, und die chemische Zusammensetzung $Fe_3\ O_4$ hat. Dieses Erz findet sich massenhaft in Schweden, Spanien, Arkansas, auf der Insel Elba und in andern Gegenden, allerdings nicht immer in magnetischem Zustande. Es tritt häufig krystallisiert auf, und dann gewöhnlich in regulären Oktaedern.

85. Künstliche Magnete. Wenn man ein Stück hartes Eisen mit einem natürlichen Magnete streicht, so findet man, dass dasselbe ebenfalls die charakteristischen Eigenschaften eines

---

1) Von jener Zeit erhielt der Magnet in England den Namen lodestone oder leading stone, d. h. leitender Stein.

Magnets erhalten hat; d. h. es zieht leichte Eisenteilchen an und zeigt, an einem Faden aufgehängt, nach Norden, resp. Süden. Savery zeigte zuerst im Jahre 1729, dass harter Stahl den Magnetismus eher behält, als gewöhnliches Eisen. In Fig. 51 und 52

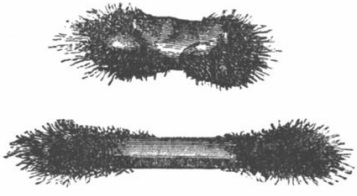

Fig. 51 und 52.

erblickt man einen natürlichen Magnet und einen künstlichen Stahlmagnet, welche beide in Eisenfeilspähne getaucht sind; letztere werden angezogen und bleiben in Büscheln haften.

86. Entdeckungen des Dr. Gilbert. Das vorstehende war nahezu Alles, was bis zum Jahre 1600 vom Magnet bekannt war. Da veröffentlichte Dr. Gilbert eine grosse Zahl von Entdeckungen auf dem Gebiete des Magnetismus in seinem berühmten Werke: *De Magnete.* Er beobachtete, dass die anziehende Kraft eines Magneten an zwei Stellen zu wohnen scheint, und in einem länglichen Magnet diese Stellen oder **Pole** sich gewöhnlich an den Enden finden. (Man sehe Fig. 51 und 52). Derjenige Teil des Magnets, welcher sich zwischen den Polen befindet, ist sichtlich weniger magnetisch, und zieht die Eisenfeilspähne nicht so stark an; und in der Mitte zwischen den Polen findet um den ganzen Magnet herum überhaupt keine Anziehung statt. Diese Stelle nannte Gilbert den **Aequator** des Magnets und eine die Pole verbindende Linie bezeichnete er als **Achse.**

87. Magnet-Nadel. Um die magnetischen Kräfte genauer zu untersuchen, gebraucht man eine **Magnetnadel.** Diese besteht (Fig. 53) aus einer leichten Stahlnadel, welche mit einem kleinen Hute von Messing, Glas oder Achat versehen ist, vermittelst dessen die Nadel auf eine scharfe Spitze gesetzt wird, so dass sie sich mit ganz geringer Reibung drehen kann. Durch Streichen

mit einem Magnet wird sie selbst zum Magnet gemacht. Nachdem sie auf diese Weise magnetisiert ist, stellt sie sich in die Nord-Süd-Lage, oder wie wir sagen, in den magnetischen Meridian (Art. 146). Der *Kompass*, welchen man vom Mechaniker kauft, besteht aus einer solchen über einer Windrose schwebenden Nadel.

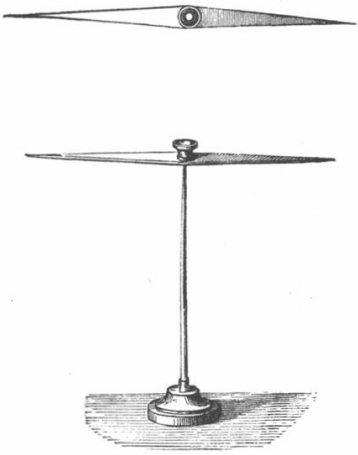

Fig. 53.

88. Magnetische Anziehung und Abstossung. Wenn wir einen natürlichen oder künstlichen Magnet in die Hand nehmen, und die beiden Pole desselben nach einander dem nach Norden zeigenden Ende einer Magnetnadel nähern, so bemerken wir, dass der eine Pol des Magnets die Nadel *anzieht*, während der andere sie *abstösst* (Fig. 54). Wenn wir den Versuch bei dem nach Süden zeigenden Ende der Magnetnadel wiederholen, so finden wir, dass dieselbe von dem einen Pole *abgestossen* und von dem andern *angezogen* wird; und dass derselbe Pol, welcher das nach Norden zeigende Ende der Magnetnadel abstösst, das nach Süden zeigende Ende anzieht.

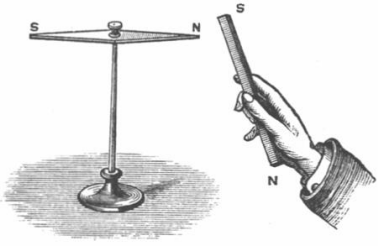

Fig. 54.

Wenn wir einen ähnlichen Versuch mit der Magnetnadel anstellen, und statt eines Magneten eine zweite magnetisierte Nadel gebrauchen, welche vorher auf eine Spitze aufgesetzt worden ist, und bei der wir das nach Norden zeigende Ende *markiert* haben, um dasselbe von dem nach Süden zeigenden Ende unterscheiden zu können, so stellt sich heraus, dass der nach Norden zeigende Pol den

nach Norden zeigenden Pol abstösst, und dass der nach Süden zeigende Pol den nach Süden zeigenden Pol ebenfalls abstösst; dass dagegen ein nach Norden zeigender Pol einen nach Süden zeigenden Pol anzieht und selbst von demselben angezogen wird.

89. Zwei Arten von magnetischen Polen. Daraus scheint hervorzugehen, dass es zwei entgegengesetzte Arten des Magnetismus giebt, oder jedenfalls zwei entgegengesetzte Arten von Magnetpolen, welche einander in genau derselben Weise anziehen oder abstossen, wie die beiden entgegengesetzten Arten der Elektrizität; die eine Art des Magnetismus scheint das Bestreben zu haben, sich nach Norden zu wenden, und die andere Art, nach Süden. Man hat den Vorschlag gemacht, diese beiden Arten des Magnetismus den Nordsuchenden und den Südsuchenden Magnetismus zu nennen; für unsern Zweck genügt es jedoch, zwischen den beiden Arten von Polen zu unterscheiden. In der gewöhnlichen Ausdrucksweise nennt man die Pole eines Magnets den Nordpol, resp. den Südpol, und diejenigen, welche Magnete anfertigen, bezeichnen gewöhnlich den nach Norden zeigenden Pol mit dem Buchstaben N. Derselbe heisst daher bisweilen der bezeichnete Pol, um ihn von dem nach Süden zeigenden oder nichtbezeichneten Pole zu unterscheiden. Um jeden Zweifel [1]) zu vermeiden, wollen wir denjenigen Pol eines Magnets, der, wenn der Magnet aufgehängt

---

1) Man muss in dieser Beziehung präzis sein, da in den vorhandenen Lehrbüchern sich manche Verwechslungen finden. Der Grund derselben ist folgender: Wenn der nach Norden zeigende Pol einer Nadel von dem am Nordpol der Erde befindlichen Magnetismus angezogen wird, so müssen nach dem Gesetze der Anziehung (dass ungleiche Pole sich anziehen) diese beiden Pole in der That entgegengesetzte Arten des Magnetismns haben. Welche Art sollen wir nun Nordmagnetismus nennen? Diejenige, welche sich am Nordpol der Erde findet? Dann müssten wir sagen, dass der nach Norden zeigende Pol der Nadel Südmagnetismus enthält. Und wenn wir diejenige Art Nordmagnetismus nennen, welche nach Norden zeigt, so müssten wir annehmen, dass der magnetische Pol am Nordpol der Erde Südmagnetismus in sich enthielte. In beiden Fällen stösst man auf Schwierigkeiten.

ist, das Bestreben hat, sich nach Norden zu kehren, den nordsuchenden Pol nennen, und den andern den südsuchenden Pol.

Wir können daher unsere Beobachtungen kurz so zusammenfassen: *Gleiche magnetische Pole stossen sich ab, ungleiche Pole ziehen sich an.* Dies können wir das erste Gesetz des Magnetismus nennen. Ebenso wie bei der elektrischen Anziehung und Abstossung geriebener Körper sind auch hier die magnetische Anziehung und Abstossung die Folge von Spannungen in dem umgebenden Medium, wie wir später sehen werden.

90. Die beiden Pole sind untrennbar. Es ist unmöglich, einen Magnet mit nur einem Pole herzustellen. Wenn wir ein Stück Stahldraht oder eine Uhrfeder magnetisieren, indem wir dieselben mit dem einen Pole eines Magnets streichen, so finden wir, dass der Draht, resp. die Uhrfeder doch 2 Pole haben, einen nordsuchenden und einen südsuchenden. Und wenn wir sie in zwei Teile zerbrechen, so hat jeder Teil wieder 2 Pole entgegengesetzter Art.

91. Magnetische Kraft. Die Kraft, mit welcher ein Magnet einen andern Magnet oder ein Stück Eisen oder Stahl anzieht oder abstösst, wollen wir *magnetische Kraft*[1]) nennen. Die von einem Magnet auf ein Stück Eisen oder einen andern Magnet ausgeübte Kraft ist nicht für alle Entfernungen dieselbe; je näher der Magnet ist, desto grösser ist die Kraft und umgekehrt. (Man sehe Art. 128.)

Jedesmal wenn eine Kraft zwischen zwei Körpern wirkt, wirkt sie auf beide und sucht beide zu bewegen. Ein Magnet zieht ein Stück Eisen an, und ein Stück Eisen zieht einen

---

Die Chinesen und Franzosen nennen den nach Norden zeigenden Pol der Nadel einen Südpol und den nach Süden zeigenden einen Nordpol. Kelvin nennt den nach Norden zeigenden Pol ebenfalls einen »wahren Südpol«. Die gewöhnliche Praxis schlägt jedoch den andern Weg ein, und nennt den nach Norden zeigenden Pol eines Magnets seinen Nordpol. Für Versuche färbt man die beiden Pole eines Magnets gewöhnlich mit verschiedenen Farben, und zwar den nordsuchenden Pol rot und den südsuchenden Pol blau.

1) Man sehe die Anmerkung über Kraft im Art. 164.

Magnet an. Die ; zeigte Isaak Newton, indem er einen Magnet auf einem Korke befestigte und ihn in einem mit Wasser gefüllten Bassin schwimmen liess (Fig. 55). Er fand, dass der Magnet sich auf dem Wasser fortbewegte, wenn er ihm ein Stück Eisen näherte. Eine auf solche Weise schwimmende Kompass-Nadel dreht sich im Kreise und zeigt nach Norden und Süden; doch bewegt sich die Nadel als Ganzes weder nach Norden, noch nach Süden. Den Grund hierfür findet man weiter unten in Art. 129.

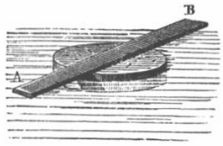

Fig. 55.

Gilbert schlug vor, die Kraft eines Magnets dadurch zu messen, dass man ihn ein an dem einen Arme einer Wagschale hängendes Stück Eisen anziehen lässt, während man in die Wagschale des andern Armes Gewichte legt; und er fand dann, als er den *Magnet* an die Wagschale hing und das Stück *Eisen* darunter hielt, dass die hervorgebrachte Wirkung dieselbe war. Wirkung und Gegenwirkung sind daher für magnetische Kräfte gleich.

92. Magnetische Substanzen. Gilbert machte einen Unterschied zwischen *Magneten* und *magnetischen Substanzen.* Ein Magnet zieht nur an seinen Polen an, und diese besitzen entgegengesetzte Eigenschaften. Aber ein Stück Eisen zieht beide Pole des Magnets an, gleichviel, welcher Teil des Eisens dem Magnet genähert wird. Dasselbe hat keine unterscheidbaren festen Pole und keinen magnetischen Aequator. Ein wirklicher Magnet hat Pole, von denen einer von dem Pole eines andern Magnets *abgestossen* wird.

93. Andere magnetische Metalle. Durch spätere Versuche ist die Liste lerjenigen Körper, welche von einem Magnet angezogen werden, vervollständigt. Ausser Eisen (und Stahl) hat man noch folgende Metalle als magnetisch erkannt:

Nickel,	Chrom,
Kobalt,	Cerium,

nebst einigen anderen. Doch nur Nickel und Kobalt sind mit Eisen und Stahl in Betreff der magnetischen Kraft überhaupt

zu vergleichen, und selbst diese stehen ihnen noch bedeutend nach. Andere Körper, verschiedene Eisensalze und andere Metalle, Papier, Porzellan und Sauerstoffgas, werden ebenfalls von einem kräftigen Magnet in schwachem Grade angezogen.

94. Diamagnetismus. Eine Anzahl von Körpern, namentlich Wismuth, Antimon, Phosphor und Kupfer werden von den Polen eines Magnets abgestossen. Solche Körper heissen *diamagnetisch*; etwas ausführlicheres über dieselben findet sich in der 29. Vorlesung.

95. Die Erde ein Magnet. Gilbert's wichtigste Entdeckung war die von dem der Erde innewohnenden Magnetismus. *Die Erde ist selbst ein grosser Magnet,* dessen Pole beinahe, jedoch nicht ganz, mit dem geographischen Nord- resp. Südpole zusammenfallen, und deshalb veranlasst die Erde einen frei aufgehängten Magnet, sich in die Nord-Südlage zu stellen. Gilbert liess einige natürliche Magnete in Kugelgestalt schneiden, um ein Modell der Erdkugel zu haben. Einen solchen kugelförmigen Magnet nannte er *Terrella.* Er fand, dass kleine Magnete sich den Polen der Terrella zuwenden, und eine geneigte Stellung annehmen, wie die Magnetnadel eines Kompasses. Die Lehre vom *Erdmagnetismus* findet sich in der 12. Vorlesung. Aus dem ersten Gesetze vom Magnetismus geht hervor, dass der magnetische Zustand des Nordpols der Erde dem des nordsuchenden Pols einer Magnetnadel entgegengesetzt sein muss. Daraus entsteht die auf Seite 93 angeführte Schwierigkeit.

96. Magnetische Induktion. Wir können einem Stücke Eisen Magnetismus mitteilen, ohne dasselbe wirklich mit einem Magnet zu berühren. Wenn wir einen kurzen, dünnen, nicht magnetischen Eisenstab neben etwas Eisenfeilspähne legen und ihm dann einen Magnet nähern, so wird durch die Nähe des Magnets in dem Eisenstabe Magnetismus *induziert,* und derselbe zieht jetzt die Eisenfeilspähne an (Fig. 56). Diese Induktions-Wirkung ist der in der 3. Vorlesung beschriebenen, welche stattfindet, wenn ein elektrischer Körper einem nichtelektrischen genähert wird, sehr ähnlich. Die Analogie geht in der That

noch weiter, denn wir finden, dass der auf diese Weise durch Induktion magnetisierte Eisenstab zwei Pole hat; der dem Pole des induzierenden Magnets nächste Pol ist von entgegengesetz-

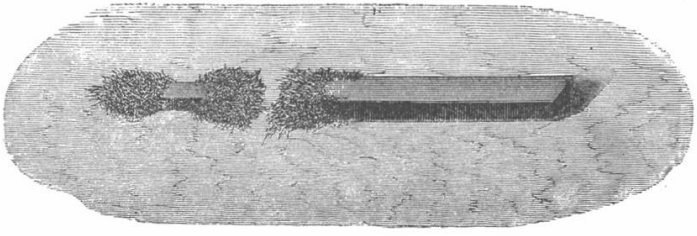

Fig. 56.

ter Art, während der Pol am entfernten Ende des Stabes denselben Magnetismus hat wie der induzierende Pol. Von den Körpern, bei welchen eine magnetisierende Kraft einen hohen Grad des Magnetismus erzeugt, sagt man, sie besitzen eine grosse *Permeabilität.* Es wird sogleich gezeigt werden, dass die magnetische Induktion längs gewisser Richtungen stattfindet, die man *Linien magnetischer Induktion* oder *magnetische Kraftlinien* nennt. Dieselben gehen sowohl durch Eisen und andere magnetische Media, als auch durch Luft, den luftleeren Raum, Glas oder andere nicht magnetische Media; und da die Induktion in Körpern von hoher magnetischer Permeabilität sehr leicht vor sich geht, so sagt man bisweilen, obgleich nicht ganz richtig, jene Kraftlinien gingen vorzugsweise durch magnetischen Stoff, oder, magnetischer Stoff sei ein Leiter der Kraftlinien.

97. Anziehung durch Körper hindurch. Wenn man eine Glasscheibe, ein hölzernes Brett oder ein Blatt Papier zwischen einen Magnet und das von ihm anzuziehende Stück Eisen oder Stahl hält, so zieht er dasselbe noch ebenso an, als ob nichts dazwischen wäre. Ein in einer versiegelten Glasröhre befindlicher Magnet wirkt noch als solcher. Lucretius fand, dass ein in einem Messinggefässe befindlicher Magnet auf Eisenfeilspähne noch durch das Messing hindurch anziehend wirkte. Gilbert umgab einen Magnet auf allen Seiten mit Flammen,

und fand, dass derselbe der magnetischen Anziehung von aussen her noch unterworfen war. Durch Wasser, den luftleeren Raum, und alle bekannten Körper wirken die magnetischen Kräfte, mit der alleinigen Ausnahme jedoch, dass die magnetische Kraft nicht durch *Eisen* oder andere magnetische Körper von einiger Dicke hindurch wirkt. Wenn man einen kleinen Magnet im Innern einer eisernen Hohlkugel aufhängt, so wirkt kein aussen befindlicher Magnet auf ihn ein und zwar

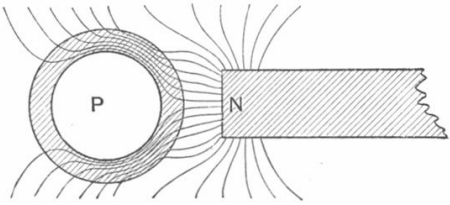

Fig. 57.

aus dem Grunde, weil die magnetischen Kraftlinien eine seitliche Ablenkung durch das Eisen erleiden, und also nicht in dasselbe eindringen. Ein hohles eisernes Gehäuse wirkt daher als *magnetischer »Käfig«*, und schützt seinen Innenraum vor magnetischen Einwirkungen. Fig. 57 zeigt, auf welche Weise ein Cylinder aus weichem Eisen den von ihm eingeschlossenen Raum vor der Influenz eines äussern Magnets schützt. Eine im Innern des Cylinders in P aufgestellte Magnetnadel wird durch die Nähe des äussern Magnets nicht beeinflusst, denn die magnetischen Kraftlinien desselben werden seitlich abgelenkt. In derselben Weise kann ein im Innern des Cylinders befindlicher Magnet den äussern Raum nicht beeinflussen.

Obgleich die magnetische Induktion auch aus der Entfernung durch eine dazwischen befindliche Schicht von Luft, Glas oder luftleeren Raum hindurch wirkt, so kommt doch ohne Zweifel das dazwischen befindliche Medium bei der Uebertragung der magnetischen Kraft direkt in Betracht, obschon das wahre Medium wahrscheinlich der die Moleküle der Materie umgebende Aether ist, und nicht die Moleküle selbst.

Wir können uns jetzt klar machen, weshalb ein Magnet ein vorher nicht magnetisches Stück Eisen anzieht; derselbe magnetisiert es zunächst durch Induktion und zieht es dann an; denn in dem nächstgelegenen Ende wird die entgegengesetzte Art des Magnetismus induziert, und dasselbe wird dann mit einer Kraft angezogen, welche diejenige, womit das entfernte Ende abgestossen wird, übertrifft. Aber *die Induktion geht der Anziehung voraus.*

98. Remanenter Magnetismus. Nicht alle magnetischen Substanzen können permanent zu Magneten werden. Magnetstein, Stahl und Nickel behalten den grössern Teil des ihnen mitgeteilten Magnetismus permanent. Gusseisen und manche unreinen Sorten des Schmiedeeisens behalten ebenfalls den Magnetismus in unvollkommener Weise. Je weicher und reiner ein Stück Eisen ist, desto leichter behält es seinen Magnetismus. Folgender Versuch macht dies klar. Man nehme ein paar kleine Eisenstäbe oder einige Nägel aus weichem Eisen. Wird einer von ihnen an den einen Pol eines permanenten Stahlmagnets gehängt (Fig. 58), so wird derselbe angezogen und wird selbst ein temporärer Magnet. An ihn kann man einen zweiten Eisenstab hängen, an diesen einen dritten u. s. w., bis man eine Kette von 4 bis 5 Eisenstäben aufgebaut hat. Wenn man jedoch den Stahlmagnet von dem obersten Stabe der Kette wegnimmt, so fallen alle übrigen ab, und es ergiebt sich, dass sie nun nicht mehr Magnete sind. Es lässt sich eine ähnliche Kette aus Stahlnadeln bilden; diese jedoch behalten ihren Magnetismus permanent. — Man findet jedoch, dass eine Stahlnadel schwieriger zu magnetisieren ist, als eine Eisennadel von derselben Grösse. Es ist schwieriger, den Magnetismus dem Stahl mitzuteilen, als dem Eisen, und ebenso ist es schwieriger, den Magnetismus dem Stahl zu entziehen, als dem Eisen; denn Stahl behält den einmal ihm mitgeteilten Magnetismus. Dieser Widerstand gegen das Magnetisieren oder Entmagnetisieren wird bisweilen *Koercitiv-*

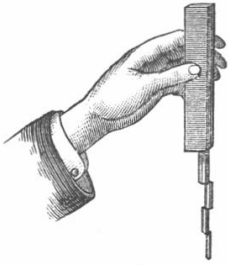

Fig. 58.

Kraft genannt; ein bei weitem besserer Ausdruck, welcher von Lamont herrührt, ist **Retentionskraft.** Die Retentionskraft des hart angelassenen Stahls ist gross; die des weichen Schmiedeeisens sehr klein. Je härter der Stahl, desto grösser seine Retentionskraft. Auch die Gestalt kommt hierbei in Frage. Längliche Formen und solche, welche einem geschlossenen oder fast geschlossenen Kreise gleichkommen, behalten ihren Magnetismus besser, als kurze Stäbe, Kugeln oder Würfel.

99. Theorieen des Magnetismus. Der Leser wird jedenfalls die auffallenden Analogieen zwischen den Erscheinungen der Anziehung, Abstossung, Induktion etc. des Magnetismus und denen der Elektrizität bemerkt haben. Und doch haben beide Reihen von Naturerscheinungen nichts mit einander zu thun. Ein + elektrischer Körper zieht weder den nach Norden, noch den nach Süden zeigenden Pol des Magnets als solchen an; freilich zieht derselbe jeden Pol an, gleichviel welchen Magnetismus er hat, aber eben nur so wie irgend einen andern Körper. Zwischen Magneten und statischen elektrischen *Ladungen* kennt man keine Beziehung. Dagegen existiert eine direkte Beziehung zwischen Magneten und elektrischen *Strömen*, wie wir weiter unten auseinandersetzen werden.

In vielen Lehrbüchern ist es Usus, von einem, resp. zwei *magnetischen Fluidis* zu sprechen; es ist aber *absolut sicher, dass der Magnetismus kein Fluidum ist,* was er sonst auch sein möge. Der Ausdruck ist ein Ueberbleibsel vergangener Zeiten. Wenn man mit einem Magnet ein Stück Stahl streicht, so wird letzteres magnetisch, *ohne dass der Magnet auch nur das geringste von seinem Magnetismus verloren hat.* Ein Fluidum kann sich ohne Verlust unmöglich bis ins Unendliche ausbreiten. Die Gründe, welche man aus dem Verhalten eines Magnets beim Zerbrechen herleitet oder aus andern, in der zehnten Vorlesung beschriebenen Versuchen, sind noch triftiger. Deshalb wollen wir nicht eher eine Theorie des Magnetismus vortragen, bis der Leser mit diesen Thatsachen bekannt gemacht worden ist.

IX. VORLESUNG: *Methoden zur Anfertigung von Magneten.*

100. Magnetisierung durch einfachen Strich. Wir haben bisher angenommen, dass Stahlstäbe oder Nadeln dadurch zu magnetisieren seien, dass man sie mit dem einen Pole eines permanenten Magnets von Eisenerz oder Stahl einfach berührt oder sie damit der Länge nach streicht. In diesem Falle wird die zuletzt berührte Stelle des Stabes ein Pol, welcher dem zum Streichen benutzten entgegengesetzt ist. Eine sicherere Wirkung erzielt man, wenn man das eine Ende der Stahlnadel mit dem einen Pole des Magnets, und das andere Ende mit dem andern Pole streicht. Es giebt jedoch noch bessere Methoden, einen Stab oder eine Nadel zu magnetisieren.

101. Magnetisierung durch Doppelstrich mit getrennten Magneten. Bei dieser Methode wird der zu magnetisierende Stab horizontal gelegt und zwei Stabmagnete werden alsdann so auf denselben gesetzt, dass ihre entgegengesetzten Pole neben einander sind. Dieselben werden dann von der Mitte des Stabes nach seinen beiden Enden geführt und wieder zurück, mehrere Male. Der Stab wird dann umgewendet und die Operation wiederholt, wobei man zu beachten hat, die Magnete in der Mitte des Stabes abzuheben. (Man sehe Fig. 59). Die

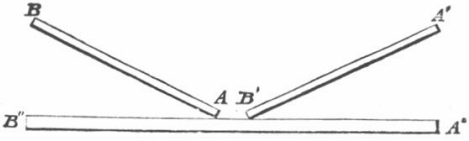

Fig. 59.

Wirkung ist kräftiger, wenn man während des Streichens den Stab mit seinen Enden auf die Pole zweier andern Stabmagnete legt, so dass die Pole dieselben sind wie die der beiden Magnete, welche über ihnen zum Streichen des Stahlstabes benutzt werden.

102. Magnetisierung durch Doppelstrich mit vereinten Magneten. Eine andere Methode weicht etwas von der

zuletzt beschriebenen ab. Ein Stück Holz oder Kork wird zwischen die Enden der beiden zu benutzenden Stabmagnete gelegt, welche dann beide zusammen vorwärts und rückwärts längs des zu magnetisierenden Stabes geführt werden. Bei keiner dieser Methoden kann jedoch ein Stahlstab über einen gewissen Grad der Intensität magnetisiert werden.

103. Formen der Magnete. Natürliche Magnete sind gewöhnlich von unregelmässiger Gestalt, obgleich sie bisweilen durch Beschneiden oder Schleifen eine regelmässige Gestalt bekommen. Früher war es gebräuchlich, sie mit Seitenteilen aus weichem Eisen oder Armaturen zu versehen, die als Pole dienten.

Zu wissenschaftlichen Versuchen verwendet man gewöhnlich *Stabmagnete* aus gehärtetem Stahl; zu manchen Zwecken zieht man jedoch die *Hufeisenform* vor. Beim Hufeisenmagnet sind die Polenden so umgebogen, dass sie nahe bei einander liegen; der Vorteil in diesem Falle besteht darin, dass jetzt beide Pole ein und dasselbe Eisenstück anziehen können. Die Armatur oder der Anker, wie man das quer vor die Pole gelegte Stück weichen Eisens nennt, wird durch Induktion selbst zum Magnet, wenn es an die Pole gelegt wird; daher ist die Kraft, mit welcher es vom Magnet angezogen wird, um so grösser, da *beide* Pole es magnetisieren.

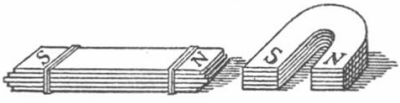

Fig. 60. Fig. 61.

104. Lamellen-Magnete. Man hat gefunden, dass lange dünne Stahlmagnete im Verhältnis zu ihrem Gewichte kräftiger sind, als dickere. Deshalb schlug Scoresby[1]) vor, zusammengesetzte Magnete zu konstruieren, bestehend aus dünnen Stahlplatten, welche erst einzeln magnetisiert und dann in Bündeln zusammengebunden wurden. (Fig. 60.) Diese Lamellenmagnete sind kräftiger als einfache Stahlstäbe. Häufig benutzt man zu-

1) Einen ähnlichen Vorschag machte Geuns von Venlo im Jahr 1768. Kürzlich hat Jamin ähnliche Magnete konstruiert.

sammengesetzte Hufeisenmagnete. Die einzeln magnetisierten Platten werden, wie Fig. 61 zeigt, zusammengesetzt.

105. Magnetisierung durch die Erde. Wenn man nicht über einen Stabmagnet verfügt, so kann man den Magnetismus der Erde verwerten, um einen Stahlstab zu magnetisieren. Gilbert fand, dass Eisenstäbe, welche lange Zeit aufrecht gestanden hatten, von der Erde Magnetismus erhielten. Wenn man ein stählernes Schüreisen so in den magnetischen Meridian hält, dass das Nordende nach unten gerichtet ist, und dann dasselbe in dieser Lage mit einem hölzernen Hammer schlägt, so findet man, dass dasselbe magnetische Eigenschaften angenommen hat. In den nördlichen Breitegraden haben alle vertikalen eisernen Säulen an ihrem untern Ende einen Nordpol, an ihrem obern einen Südpol. In Australien und auf der südlichen Hemisphäre ist das obere Ende der eisernen Säulen ein Nordpol. Stahldrähte, welche man, solange sich dieselben im magnetischen Meridiane befinden, einer Torsion unterwirft, werden hierdurch ebenfalls magnetisch.

106. Magnetisierung nach dem Erhitzen. Gilbert machte auch die Entdeckung, dass ein Stahlstab magnetische Polarität annahm, wenn derselbe bis zur Rotglühhitze erwärmt und dann, während er sich im magnetischen Meridian befand, langsam oder plötzlich abgekühlt wurde. Wird der Stab von Osten nach Westen gerichtet und dann abgekühlt, so nimmt derselbe keine derartige Eigenschaft an. Man hat den Vorschlag gemacht, kräftige Magnete auf die Weise anzufertigen, dass man heisse Stahlstäbe zwischen den Polen sehr kräftiger Elektromagnete erkalten lässt; und Carré hat kürzlich starke Magnete hergestellt, indem er Stahl in Formen gegossen hat, welche sich innerhalb eines intensiven magnetischen Feldes befanden.

107. Magnetisierung durch elektrische Ströme. Wird ein starker elektrischer Strom durch einen spiralförmig um einen Eisen- oder Stahlstab gewundenen Draht geführt, so wird der Stab kräftiger magnetisiert als in allen vorhergehenden Fällen. Hat man einen Stab aus weichem Eisen, so wird derselbe ein

Magnet, aber nur so lange wie der Strom durch die Spirale fliesst. Eine solche Anordnung wird ein **Elektromagnet** genannt; derselbe wird in der 31. Vorlesung ausführlich beschrieben. Fig. 62 veranschaulicht eine gebräuchliche Form eines Elektromagnets, welcher aus 2 Rollen isolierten Kupferdrahts besteht, der auf 2 die Schenkel eines weichen Eisenkerns umschliessende Spulen gewickelt ist. Die Armatur besteht ebenfalls aus weichem Eisen von hinreichender Dicke. Stahlstäbe lassen sich dadurch magnetisieren, dass man sie über die Pole eines solchen Elektromagnets zieht, während derselbe durch den elektrischen Strom erregt wird. Elias von Haarlem machte den Vorschlag, Stahlstäbe dadurch zu magnetisieren, dass man sie durch einen in vielen Windungen zu einem Reifen aufgewickelten Draht steckte, durch welchen man alsdann einen starken Strom einer Volta'schen Batterie schickte.

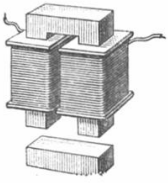

Fig. 62.

108. Härten und Tempern des Stahls für magnetische Zwecke. Es giebt zwei Methoden, um Stahl zu härten: 1) Plötzliches Abkühlen aus klarer Rotglühhitze. 2) Zusammenpressen auf hydraulischem Wege, während der Stahl sich langsam abkühlt. Wird ein Stahlstab bis zur Rotglühhitze erwärmt und dann in Wasser, Oel oder Quecksilber abgekühlt, so wird derselbe spröde wie Glas. Um gehärteten Stahl hierauf zu tempern, wird derselbe dann wieder bis zu einer schwachen Rotglühhitze erwärmt, wobei er weich wird und eine Strohfarbe annimmt. Durch weiteres Erwärmen nimmt er eine blaue Farbe an und wird elastisch und biegsam. Kurze Stabmagnete behalten den grössten Teil ihres Magnetismus, wenn man sie spröde lässt, ohne sie zu tempern. Dagegen behalten solche Magnete, welche circa 20 mal so lang als dick sind, ihren Magnetismus um so besser, wenn sie bis zur Stroh- oder gar bis zur blauen Farbe getempert werden.

109. Vernichtung des Magnetismus. Ein Stahlmagnet verliert seinen Magnetismus zum Teil oder vollständig, wenn

derselbe unvorsichtig gehandhabt oder absichtlich geschlagen oder gehämmert wird. Frisch angefertigte Magnete verlieren eher ihren Magnetismus durch unvorsichtige Handhabung als diejenigen, welche schon vor längerer Zeit gemacht worden sind. Ein Magnet verliert seinen Magnetismus auch, wie Gilbert zeigte, wenn er bis zur Rotglühhitze erwärmt wird. Durch die geringste Vibration wird jeder Magnetismus vernichtet, der in ausgeglühtem weichem Eisen zurückgeblieben ist.

110. Magnete von unabänderlicher Stärke. Gewöhnliche Stahlmagnete haben durchaus keinen permanenten oder konstanten Magnetismus. Sie verlieren bald einen beträchtlichen Prozentsatz ihres Magnetismus, und diese Abnahme dauert Monate und Jahre lang. Jeder Stoss, dem man sie aussetzt, jede Berührung mit Eisen, jeder Temperaturwechsel schwächt sie. Jedes Mal, wo der Anker an einen Hufeisenmagnet angelegt wird, wird letzterer geschwächt. Nun sind behufs magnetischer Messungen sowie als Kontrollmagnete in Galvanometern solche Magnete erforderlich, welche die grösstmögliche Unveränderlichkeit ihrer Stärke aufweisen. Bei ihrer Anfertigung hat man folgende Punkte zu berücksichtigen. Man wähle eine Form, welche fast einem geschlossenen Kreise gleichkommt, oder einen sehr langen Stab. Der Stahl muss so viel wie möglich gehärtet (vergl. Art. 108) und hierauf 20 bis 30 Stunden lang in Dampf von 100° gebracht werden. Hierauf magnetisiere man den Stahl möglichst vollkommen, und erhitze ihn dann wieder circa 5 Stunden lang in Dampf. Magnete, die in Gestalt einem fast geschlossenem Kreise gleichkommen, sind konstanter als kurze gerade Magnete.

111. Wirkungen der Wärme auf das Magnetisieren. Wenn ein permanenter Stahlmagnet erhitzt wird, indem man ihn in heisses oder kochendes Wasser legt, so nimmt seine Stärke dadurch ab, zum Teil gewinnt er dieselbe indessen beim Erkalten wieder. Kühlt man einen Magnet ab, so nimmt seine Stärke zu. Gusseisen wird bei klarer Rotglühhitze oder bei einer Temperatur von ungefähr 700° C. von einem Magnet nicht mehr angezogen. Kobalt behält seinen Magnetismus bei den höch-

sten Temperaturen. Chrom hört auf magnetisch zu sein bei ungefähr 500° C. und Nickel bei 350° C. Mangan zeigt magnetische Anziehung erst dann, wenn es bis auf — 20° C. abgekühlt ist. Man hat deshalb vermutet, dass andere Metalle ebenfalls magnetisch würden, falls man sie auf eine genügend niedrige Temperatur brächte. Trowbridge fand, dass ein energisches Abkühlen bis auf 100° unter Null den Magnetismus der Stahlmagnete zerstört; dagegen hat Dewar beobachtet, dass die magnetische Kraft des Eisens, falls dasselbe in flüssigem Sauerstoff bis auf ungefähr — 200° C. abgekühlt wird, fast doppelt so gross ist wie bei 0°. Bei hohen Temperaturen werden die magnetischen Metalle nicht diamagnetisch, sondern sind noch schwach magnetisch.

112. Magnetische Sättigung. Ein Magnet, dem der stärkste Grad von Magnetismus, den er überhaupt annehmen kann, gegeben ist, heisst *gesättigt*. Ein eben magnetisierter Magnet scheint bisweilen *übersättigt* zu sein, indem er selbst dann, wenn die Einwirkung der magnetisierenden Kraft schon aufgehört hat, einen höhern Grad von Magnetismus besitzt, als derselbe dauernd bewahren kann. Ein hufeisenförmiger Stahlmagnet trägt z. B. unmittelbar nach seiner Magnetisierung ein grösseres Gewicht, als dann, wenn seine Armatur schon einmal von seinen Polen abgenommen ist. Sogar weiches Eisen behält, nachdem es magnetisiert wurde, einen kleinen Teil seines Magnetismus, nachdem sein *temporärer Magnetismus* schon verschwunden ist. Diese kleine zurückbleibende magnetische Ladung nennt man *magnetisches Residuum*.

113. Stärke eines Magnets. Die *Stärke* eines Magnets ist nicht dasselbe wie seine Tragkraft. Letztere ist eine ganz unbestimmte Grösse, welche nicht allein von der Gestalt der Polflächen, sondern auch von der Gestalt und Beschaffenheit des als Last benutzten Eisenstücks abhängt. Folglich muss die Stärke eines Magnetpols durch die magnetische Kraft, welche er auf andere in der Nähe befindliche Magnete ausübt, gemessen werden. Angenommen z. B. wir hätten 2 Magnete A

und B, deren Stärke wir vergleichen, indem wir jeden auf den N-Pol eines dritten Magnets C wirken lassen. Wenn der N-Pol von A den Magnet C zweimal so stark abstösst, wie der in dieselbe Entfernung gebrachte N-Pol von B, so sagen wir, dass die Stärke von A noch einmal so gross ist, wie die von B. Man kann die Sache auch noch in etwas anderer Weise auffassen und sagen, die Stärke eines Poles ist gleich der Menge von freiem Magnetismus an jenem Pole. Wenn wir die in Art. 141 definierte Krafteinheit magnetischer Pole adoptieren, so können wir die Stärke eines Poles numerisch durch die Anzahl von Krafteinheiten ausdrücken.

114. Tragkraft. Die Tragkraft eines Magnets hängt sowohl von seiner Form als auch von seiner magnetischen Stärke ab. Ein hufeisenförmiger Magnet hebt eine 3 bis 4 mal grössere Last, als ein Stabmagnet von derselben Schwere. Ein langer Stabmagnet trägt mehr als ein kurzer Stabmagnet von gleicher Stärke. Ein Stabmagnet mit abgerundetem Ende trägt mehr als derselbe Stab mit plattem Ende, auch dann, wenn beide gleich stark magnetisiert worden sind. Auch wächst die Tragkraft eines Magnets in höchst merkwürdiger und unerklärlicher Weise, wenn man nach und nach die Last an seiner Armatur vergrössert, bis er eine Last trägt, die er im Anfange nicht hätte tragen können. Wird die Last jedoch derart vergrössert, dass die Armatur abgerissen wird, so sinkt die Kraft des Magnets plötzlich wieder auf ihre ursprüngliche Höhe herab. Die Anziehung zwischen einem kräftigen Elektromagnet und seiner Armatur kann auf 14 Kilogramm pro Quadrat-Zentimeter steigen. Kleine Magnete tragen eine im Verhältnis zu ihrem eigenen Gewichte grössere Last als grosse Magnete [1]), weil die Trag-

1) Bernouilli gab folgende Regel, um die Tragkraft p eines Magnets vom Gewichte w zu finden:

$$p = a \sqrt[\frac{3}{2}]{w};$$

wo a eine Konstante bedeutet, die von der Güte des Stahls und der Methode, ihn zu magnetisieren, abhängt. Bei den besten Stahlmagneten, die V. Wetteren in Haarlem verfertigte, schwankte dieser Koeffizient zwischen 19,5 und 23.

kraft unter sonst gleichen Verhältnissen der Polfläche proportional ist. Stahlmagnete erreichen selten eine grössere Anziehungskraft als 40 Pfund für jeden Quadratzoll Polfläche. Ein guter hufeisenförmiger Stahlmagnet von einem Pfund Gewicht sollte eine Last von 25 Pfund tragen. Isaac Newton soll einen kleinen, in einen Siegelring gefassten natürlichen Magnet besessen haben, der ein Stück Eisen trug, das 200 mal schwerer war, als der Magnet selbst.

X. VORLESUNG: *Verteilung des Magnetismus.*

115. Magnetisches Feld. Der einen Magnet umgebende Raum, über welchen sich die magnetischen Kräfte erstrecken, heisst das *magnetische Feld* jenes Magnets. Dasselbe ist in der Nähe des Magnetpols am stärksten, und wird um so schwächer, je grösser die Abstände von demselben werden. In jedem Punkte eines magnetischen Feldes hat die Kraft eine bestimmte Intensität, und wirkt in einer bestimmten Richtung. Man kann durch jeden Punkt eines magnetischen Feldes eine Linie ziehen, welche die Richtung der *resultierenden magnetischen Kraft* angiebt, die in diesem Punkte wirkt. Das ganze Feld kann auf diese Weise mit magnetischen Linien ausgefüllt werden (Art. 119). Beim Hufeisenmagnet ist das Feld am stärksten zwischen den beiden Polen, und die Linien der magnetischen Kraft sind Kurven, welche durch das Feld von dem einen Pole zum andern führen. Eine praktische Methode, die Verteilung der Kraftlinien in einem Felde zu untersuchen, findet sich in Art. 119 unter der Ueberschrift: Magnetische Figuren. Legt man die Armatur auf die Pole eines Hufeisenmagnets, so wird die Kraft des Magnets auf alle äussern Punkte geschwächt, denn die Induktion geht jetzt nicht durch den umgebenden Raum, sondern durch das Eisen der Armatur. In der That hat ein *geschlossenes System* von Magneten — z. B. ein aus 4 Stabmagneten gebildetes Quadrat, bei welchem der Nordpol des einen den Südpol des nächsten berührt — kein äusseres Kraftfeld. Ein *Stahlring* kann derart

magnetisiert werden, dass er weder Pole noch ein äusseres Feld hat; oder vielmehr kann jeder Punkt des Ringes als ein N-Pol und S-Pol zu gleicher Zeit angesehen werden, die so nahe bei einander liegen, dass ihre Kräfte sich gegenseitig aufheben.

Dass entgegengesetzte Pole sich neutralisieren, lässt sich durch das bekannte Experiment nachweisen, wo man einen kleinen Körper, z. B. einen Stahlring oder Schlüssel, an den N-Pol eines Stabmagnets hängt. Wenn man dann diesen mit dem S-Pole eines zweiten Stabmagnets berührt, so neutralisieren die beiden Pole ihre Kräfte, und der Ring oder Schlüssel fällt ab.

116. Zerbrechen eines Magnets. Wir haben bereits gesehen, dass, wenn ein Magnet in 2 oder mehrere Teile zerbrochen wird, jeder Teil wieder ein vollständiger Magnet mit Polen ist, und dass jeder nahezu ebenso stark magnetisiert ist, wie der ursprüngliche Magnet. (Siehe Fig. 63). Wenn die ab-

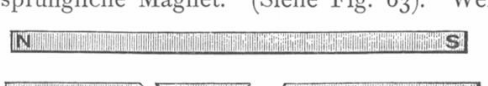

Fig. 63.

gebrochenen Teile wieder eng zusammengefügt werden, so neutralisieren sich die an einander anstossenden Pole und verschwinden, so dass nur noch die Pole an den Enden übrig bleiben, wie früher. Wenn ein Magnet zu Pulver gemahlen wird, so wirkt

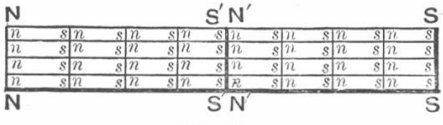

Fig. 64.

jedes Teilchen noch als ein kleiner Magnet und zeigt Polarität. Man kann daher einen Magnet als aus vielen kleinen Magneten bestehend ansehen, welche so zusammengesetzt sind, dass ihre gleichnamigen Pole alle nach derselben Seite zeigen. Eine solche Zusammensetzung zeigt Fig. 64, aus welcher hervorgeht, dass,

wenn der Magnet an irgend einer Stelle zerbrochen wird, die eine Seite der Bruchfläche nur N-Pole, die andere nur S-Pole zeigt. Dies ist richtig, gleichviel wie klein die einzelnen Teilchen sind. —

117. Normale Verteilung. Bei einem gewöhnlichen Stabmagnet finden sich die Pole nicht ganz an den Enden des Stabes, sondern etwas davon entfernt; und es lässt sich darthun, dass dies eine Folge der Art und Weise ist, wie der Magnetismus in dem Stabe verteilt ist. Ein sehr langer, dünner, gleichförmig magnetisierter Stab hat seine Pole an den Enden; aber in gewöhnlichen, dicken Magneten nimmt der »Pol« ein beträchtliches Gebiet ein, der freie Magnetismus nimmt von den Enden des Stabes nach der Mitte zu allmählich ab. Immer aber kann man einen Punkt bestimmen, in welchem die Resultante der magnetischen Kräfte angreift, und den man in den meisten Fällen als Pol betrachten darf. In gewissen Fällen der unregelmässigen Magnetisierung ist es möglich, dass zwischen den Endpolen noch einer oder mehrere andere Pole liegen. Solche Pole heissen *Folge-Pole* (vgl. Art. 120).

118. Lamellen-Verteilung des Magnetismus; magnetische Schalen. Bis jetzt haben wir nur die gewöhnliche Verteilung des Magnetismus in einem Stabe betrachtet. Aber es ist möglich, den Magnetismus auf einer dünnen Platte derart zu verteilen, dass die ganze Vorderfläche derselben nur die eine Art Magnetismus und die ganze Hinterfläche nur die andre Art Magnetismus hat. Eine derartige Verteilung ist allerdings unbeständig. Wenn eine sehr grosse Zahl kleiner Magnete neben einander gestellt würden, etwa wie die Zellen in einer Honigscheibe, alle nordsuchenden Pole nach oben und alle südsuchenden Pole nach unten gerichtet, so würde die ganze eine Seite der Platte ein grosser ebener nordsuchender Pol sein und die andre Seite ein südsuchender Pol. Eine derartige Verteilung über eine Fläche oder Scheibe heisst eine **Lamellen**-Verteilung, zum Unterschiede von der gewöhnlichen Verteilung längs einer Linie oder eines Stabes, welche die **Solenoid**-Verteilung genannt

wird. Ein lamellar magnetisierter Magnet wird bisweilen eine **magnetische Schale** genannt.

119. Magnetische Figuren. Gilbert zeigte [1]), dass, wenn ein Blatt Papier oder eine Karte über einen Magnet gehalten wird und Eisenfeilspähne über das Papier gestreut werden, sich dieselben in krummen Linien festsetzen, welche eine *magnetische Figur* bilden, deren allgemeine Form in Bezug auf einen Stabmagnet in Fig. 65 abgebildet ist. Die Spähne müssen fein sein

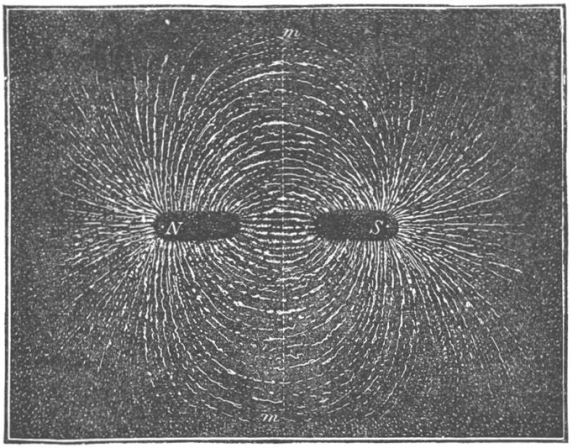

Fig. 65.

und durch Musselin gesiebt werden; und um ihr Festsetzen in den Linien zu erleichtern, mus man das Blatt Papier einmal leise anstossen. Die so erhaltenen Figuren können auf verschiedene Weise dauernd fixiert werden. Am besten thut man, wenn man statt des Blattes Papier eine Glasplatte nimmt und dieselbe vorher gummiert und trocken werden lässt. Nachdem man sie über den Magnet gelegt hat, siebt man die Spähne gleichförmig auf die Oberfläche und führt einen leisen Stoss gegen das Glas. Dann lässt man einen Dampfstrahl vorsichtig über die Platte streichen, welcher die Oberfläche des Gummis

1) Die magnetischen Figuren waren dem Lucretius bekannt.

erweicht, und dieser befestigt beim Erhärten die Spähne an ihren Plätzen. Die Ansicht der Figur zeigt, dass die Linien fast strahlenförmig von jedem Pole auslaufen und sich im Bogen denen des andern Pols nähern. Fig. 66 zeigt, dass das magnetische Feld eines Hufeisenmagnets zwischen den Polen die grösste Intensität besitzt, und über dieselben hinaus sich in weitverzweigten Kurven erstreckt. Faraday, der diese Methode vielfach dazu verwandte, um die Verteilung des Magnetismus in verschiedenen Feldern zu untersuchen, gab den Linien den Namen **Kraftlinien.** Wie aus der Einwirkung auf kleine magnetische Teilchen hervorgeht, welche sich, den Anziehungen und Abstossungen im Felde folgend, in den Figuren anordnen, stellen diese Linien die Richtung der resultierenden Kraft in jedem Punkte dar; denn jedes Teilchen strebt die Richtung derjenigen magnetischen Kraft anzunehmen, welche aus der gleichzeitigen Wirkung beider Pole hervorgeht; daher kann man sagen, jene Linien veranschaulichen die unsichtbaren magnetischen Kraftlinien [1]). Faraday wies nach, dass die Kraftlinien ein Bild des magnetischen Feldes geben, indem sie durch ihre Lage die Richtung der magnetischen Kraft und durch ihre Zahl die Intensität derselben angeben. Wenn man sich einen kleinen nordsuchenden Pol allein verschaffen und ihn auf irgend eine dieser Kraftlinien legen könnte, so würde er bestrebt sein, sich längs jener Linie von Norden nach Süden zu bewegen; ein einzelner südsuchender Pol würde längs jener Linie sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen streben. In Fig. 67, welche das Feld in der Nähe des einen Pols eines Stabmagnets darstellt, verlaufen die magnetischen Linien einfach radial. Faraday zeigte auch, dass die anziehenden oder abstossenden Kräfte des Feldes stets zu den Richtungen in dem Felde der magnetischen Linien in Beziehung stehen. Er schrieb diesen Kraftlinien auch gewisse

---

1) Oder vielmehr die nach der Ebene der Figur genommene Komponente der magnetischen Kraft; was nicht ganz dasselbe ist, denn oberhalb der Pole stehen die Spähne fast senkrecht zu dieser Ebene.

physikalische Eigenschaften zu (welche jedoch nur in übertragener Bedeutung richtig sind), nämlich, dass sie sich zwischen ihren Enden zu verkürzen bestrebt sind, und dass sie einander abstossen, wenn sie neben einander liegen. Die neuere Anschauungsweise besagt, dass in jedem magnetischen Felde gewisse Kräfte thätig sind, welche längs der Kraftlinien eine Spannung, und senkrecht gegen dieselben einen Druck ausüben.

120. Folgepole. Die vorstehend beschriebene Methode kann man dazu benutzen, um sich von dem Vorhandensein *von Folgepolen* in einem Stahlstabe zu überzeugen, da die in diesem Falle erhaltene Figur der in Fig. 68 gleichen muss. Solcher Zustand kommt zum Vorschein, wenn ein Stück sehr harten Stahls absichtlich unregelmässig magnetisiert wird, indem man es an gewissen Stellen mit starken Magneten berührt. Ein auf diese Weise magnetisierter Stahl besteht in Rücksicht auf seine Kraftäusserungen aus mehreren Magneten, die mit ihren Enden zusammengelegt sind, aber in umgekehrter Richtung, N-S, S-N etc. Folgepole lassen sich auch in einem Elektromagnet hervorbringen, dadurch dass man den Draht um einen Teil des Eisenkerns in entgegengesetzter Richtung wickelt.

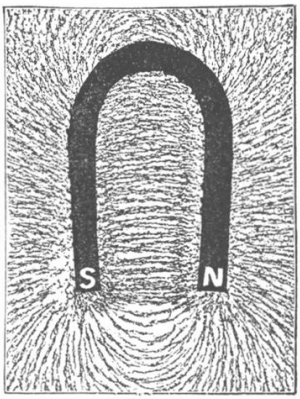

Fig. 66.

121. Die Kräfte, welche zwischen ungleichen Polen Anziehung und zwischen gleichen Polen Abstossung hervorbringen, werden durch die magnetischen Figuren, welche sich in den Feldern zwischen den Polen in beiden Fällen ergeben, prächtig

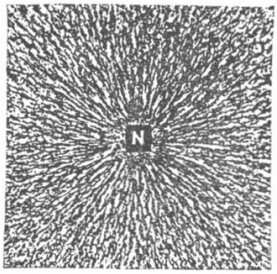

Fig. 67.

zur Anschauung gebracht. (Fig. 69 und 70.) In Fig. 69 sind die Pole entgegengesetzt und die Kraftlinien gehen im Bogen

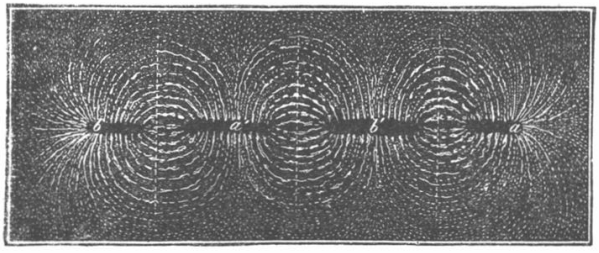

Fig. 68.

von einem Pole zum andern; während in Fig. 70, welche die Wirkung zweier gleichen Pole darstellt, die Kraftlinien sich so

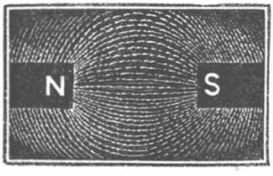

Fig. 69.

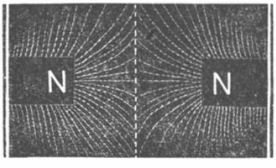

Fig. 70.

krümmen, als ob sie sich gegenseitig abstiessen, und sich rechtwinklig zur Seite wenden.

122. Magnetische Schrift. Eine andere Art der magnetischen Figuren entdeckte De Haldat, welcher mit dem Pole eines Magnets auf einer dünnen Stahlplatte (z. B. auf einem Sägeblatte) schrieb und dann Eisenfeilspähne darüber streute. Die Schrift, welche an sich völlig unsichtbar ist, offenbart sich in den Linien von Eisenfeilspähnen, welche an den magnetisierten Stellen haften. Diese magnetische Schrift bleibt in einer Stahlplatte mehrere Monate lang bestehen.

123. Magnetisierung der Oberfläche. In vielen Fällen ist der den Magneten mitgeteilte Magnetismus hauptsächlich auf die äusseren Schichten des Stahls beschränkt. Wenn ein Stahlmagnet in eine Säure gelegt wird, so dass die äusseren Schichten aufgelöst werden, so ergiebt sich, dass derselbe seinen Magne-

tismus schon verloren hat, wenn nur eine dünne Schicht auf diese Weise entfernt worden ist. Eine hohle magnetisierte Stahlröhre ist fast ein ebenso starker Magnet, wie ein solider Stab von derselben Grösse. Lange, dünne Magnete, sowie solche, welche der Gestalt nach fast einen geschlossenen Kreis bilden, lassen sich sehr viel vollständiger magnetisieren. Wenn ein Bündel Stahlplatten magnetisiert wird, während dieselben zusammengebunden sind, so stellt sich heraus, dass nur die äusseren Platten stark magnetisiert sind. Die inneren zeigen sogar bisweilen eine entgegengesetzte Magnetisierung.

124. Mechanische Wirkungen des Magnetisierens. Joule fand, dass ein eiserner Stab, der kräftig magnetisiert wurde, um $\frac{1}{720000}$ seiner Länge zunahm. Bidwell fand, dass Eisen sich bei noch stärkerem Magnetisieren wieder zusammenzieht; und dass Stäbe, welche durch ein Gewicht gespannt werden, sich beim Magnetisieren stärker zusammenziehen, als Stäbe, welche kein Gewicht tragen. Barrett beobachtete, dass Nickel beim Magnetisieren sich etwas zusammenzieht. Dies beweist, dass der Akt des Magnetisierens auf die Anordnung der Moleküle von Einfluss ist. Dieser Satz wird bestätigt durch die Beobachtung von Page, dass man in dem Augenblicke, wo ein Stab magnetisiert oder entmagnetisiert wird, ein schwaches metallisches Klingen in dem Stabe hört. W. Grove zeigte an einem Quantum Wasser, welches er in eine Röhre gegossen und dann getrübt hatte, indem er fein gestossenes magnetisches Eisenoxyd darin aufrührte, dass die Flüssigkeit sich beim Magnetisieren der Röhre in der Richtung des Magnetisierens aufklärte, indem die Teilchen sich offenbar ihrer Länge nach, Ende an Ende an einander lagerten und mehr Licht zwischen sich hindurch liessen. Ein tordierter Eisendraht strebt, wenn er magnetisiert wird, in seine Ruhelage zurückzukehren, sich zu detordieren. Wird ein Stück Eisen in rascher Aufeinanderfolge kräftig magnetisiert und entmagnetisiert, so wird dasselbe warm, als ob das Magnetisieren von innerer Reibung begleitet wäre.

125. Wirkung des Magnetismus auf das Licht.

Faraday entdeckte, dass ein polarisierter Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch gewisse Körper in einem kräftigen magnetischen Felde die Richtung seiner Schwingungen ändert. Diese Erscheinung, welche bisweilen die Magnetisierung des Lichtes genannt wird, wird besser als die Drehung der optischen Polarisationsebene durch Magnetismus bezeichnet. Die Grösse der Drehung ist je nach den Medien verschieden, und ändert sich mit der magnetisierenden Kraft. Kürzlich hat Kerr gezeigt, dass durch Reflexion am Ende oder an der Seite eines kräftigen Magnets die Polarisationsebene des polarisierten Lichtes ebenfalls gedreht wird. Weitere Erwähnung finden diese Entdeckungen in dem Kapitel über Elektrooptik, Vorlesung 56.

126. Der Akt des Magnetisierens. Alle diese verschiedenen Erscheinungen deuten auf eine Theorie des Magnetismus, welche sehr von der alten Vorstellung der Fluida abweicht. Es scheint, dass jedes Molekül eines Magnets selbst wieder ein Magnet ist, und dass der Magnet nur dadurch als ein Ganzes zu einem Magnet wird, dass die Moleküle sich so drehen, dass sie alle nach derselben Richtung zeigen. Der Akt des Magnetisierens besteht darin, den Molekülen mehr oder weniger eine besondere Richtung zu erteilen. Diese Schlussfolge wird durch die Beobachtung unterstützt, dass, wenn man eine mit Eisenfeilspähnen gefüllte Glasröhre magnetisiert, man sehen kann, wie sich die Eisenfeilspähne mit ihren Längsaxen einander parallel und parallel der Längsaxe der Glasröhre stellen, und dass sie, nachdem sie sich einmal so gestellt haben, wie ein Magnet wirken, bis sie wieder geschüttelt werden. Es scheint schwieriger zu sein, die einzelnen Moleküle von festem Stahl in dieser Weise zu richten, als diejenigen des weichen Eisens; aber, nachdem sie so gerichtet sind, bleiben sie auch stehen, wenn sie nicht kräftig geschlagen oder erhitzt werden. Aus dieser Theorie geht hervor, dass die Grenze der möglichen Magnetisierung erreicht wäre, wenn alle Moleküle sich mit ihren Längsaxen parallel gestellt hätten. Einige sorgfältige Versuche von Beetz mit durch Elektrolyse ausgeschiedenem Eisen bestätigen diesen Schluss

vollkommen, und verleihen der Theorie mehr Ansehen. Fig. 71 giebt eine Vorstellung von einem unmagnetischen Stück Eisen oder Stahl, in welchem die Anordnung der Moleküle durchaus verschieden ist; wir bemerken hier keine irgendwie vorherrschende Richtung. Wird das Eisen etwas magnetisiert, so findet

Fig 71.

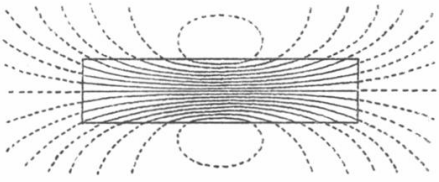

Fig. 72.

sich ein grösserer Prozentsatz von Molekülen, welche die Richtung der magnetisierenden Kraft annehmen. Wäre das Eisen absolut magnetisch, so würden alle Moleküle nach einer und derselben Richtung zeigen, wie in Fig. 72.

In sehr wenigen Fällen ist jedoch die Magnetisierung gleichförmig längs des ganzen Stabes: in der Mitte desselben sind mehr Moleküle gleichgerichtet als an den Enden. Wäre die innere Magnetisierung des Stahls an jeder Stelle gleich stark, so fänden sich die freien Pole nur an den Endflächen; aber die Thatsache, dass der freie Magnetismus sich nicht bloss an den Enden findet, sondern von den Enden nach der Mitte abnimmt, beweist, dass die Intensität der innern Magnetisierung nach den Enden zu geringer sein muss, als in der Mitte des Stabes. Fig. 72 soll dies veranschaulichen. Man beachte, dass die magnetischen Linien durch das Eisen hindurchgehen und bei ihrem Uebergang in die Luft sich krümmen. Einige Linien gehen nicht durch den ganzen Stab, sondern zeigen eine seitliche Abweichung. Wäre der Stab gleichförmig magnetisiert, so würden die Linien bloss an den Enden austreten. Offenbar ist das mittlere Stück vollständiger magnetisiert als irgend ein anderer Teil. Der Magnetismus ist in der That eine Art Struktur, welche auf das Eisen übertragen wird. Jedes Mal, wo diese Struktur an der Oberfläche auftritt, zeigen sich die Oberflächeneigenschaften

des Magnetismus. Ein Pol ist nichts weiter als ein Gebiet, wo die magnetischen Linien aus der Oberfläche des Eisens austreten.

Die optischen Erscheinungen führten Maxwell zu dem weiteren Schlusse, dass diese longitudinal-geordneten Moleküle um ihre Längsachen rotieren, und dass im Aether des Raumes ebenfalls eine drehende Bewegung längs der Linien der magnetischen Induktion stattfindet; da diese Bewegung, wenn sie in einem vollkommenen Medium vor sich geht (und als solches kann der Aether betrachtet werden) Spannungen längs der Linien des magnetischen Feldes und Drucke rechtwinklig gegen sie erzeugt, so würde dieselbe eine zufriedenstellende Erklärung der magnetischen Anziehungen und Abstossungen an die Hand geben, welche offenbar durch den leeren Raum hindurch wirken. Hughes, Barus und andere haben kürzlich gezeigt, dass der Magnetismus des Eisens und des Stahls mit der molekularen Festigkeit des Materials in engem Zusammenhange steht. Hughes's Untersuchungen mit der Induktions-Wage (Art. 509) und der magnetischen Wage (Art. 140) wollen nachweisen, dass jedes Molekül eines magnetischen Metalls eine absolut konstante besondere magnetische Polarität hat; und dass, wenn ein Stück Eisen oder Stahl scheinbar neutral ist, seine Moleküle innerlich so geordnet sind, dass sie ihre Polarität gegenseitig aufheben, indem sie geschlossene magnetische Ströme unter sich bilden.

127. Ewings Theorie des Molekularmagnetismus. Weber nahm an, dass die Moleküle des magnetisierten Stahls infolge einer Art Reibung nicht wieder in ihre frühere willkür-

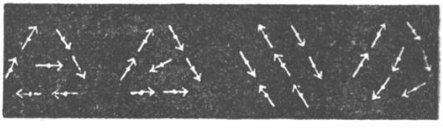

Fig. 73.

liche Lage zurückkehren könnten. Dagegen erklärte Ewing diese Thatsache durch die Annahme, dass die Moleküle gegenseitig auf einander einwirken. Bei einer Gruppe von Molekülen,

welche nicht unter dem Einflusse einer äussern magnetisierenden Kraft stehen, werden sich dieselben so anordnen, dass sie ihrer eigenen Polarität genügen. Unter den möglichen Gruppen sind jedoch einige labil. Fig. 73 zeigt 4 mögliche stabile Gruppen von je 6 drehbaren Nadeln. Ewing konstruierte einen Apparat, welcher aus einer grossen Anzahl von drehbaren Magnetnadeln bestand, die sich alle in derselben Ebene befanden. Wurden diese Nadeln in Schwingungen versetzt und dann sich selbst überlassen, so kamen sie in verschiedenen Gruppierungen zur Ruhe; wurden sie jedoch durch eine allmählich zunehmende magnetische Kraft beeinflusst, so gerieten sie in Umdrehung und man konnte dabei drei Stationen beobachten; 1) Bei Anwendung einer kleinen magnetischen Kraft drehten sich die Nadeln bloss um einen kleinen Winkel. 2) Wurde eine stärkere Kraft angewandt, so wurden die Gruppen labil, und einige der Nadeln schwangen plötzlich in eine neue Lage, so dass die Mehrzahl derselben fast (aber nicht vollständig) in die Richtung der Kraft zu stehen kamen. 3) Eine weitere Verstärkung der magnetischen Kraft konnte nicht erheblich mehr bewirken; die Nadeln kamen nur noch etwas vollkommener in die Richtung der Kraft. Alles dieses entspricht den drei Stationen, welche man beim allmählichen Magnetisieren des Eisens oder Stahls beobachten kann (s. Art. 359).

XI. VORLESUNG: *Gesetze der magnetischen Kraft.*

128. Gesetze der magnetischen Kraft.

Erstes Gesetz: *Gleichnamige Magnetpole stossen sich ab, ungleichnamige Magnetpole ziehen sich an.*

Zweites Gesetz: *Die Kraft, welche zwei Magnetpole auf einander ausüben, ist dem Produkte ihrer Intensitäten direkt und dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional*, vorausgesetzt, dass diese Entfernung so gross ist, dass die Pole als blosse Punkte angesehen werden können.

129. Das Gesetz vom umgekehrten quadratischen

Verhältnis. Das zweite der obigen Gesetze ist allgemein als das Gesetz vom umgekehrten quadratischen Verhältnis bekannt. Dasselbe gilt genau genommen nur für Punkte, und nicht für Pole von grösserer Oberfläche. Das analoge Gesetz der elektrischen Anziehung wurde bereits erläutert in Art. 19. Dies Gesetz erklärt eine in einer früheren Vorlesung, Art. 91, erwähnte Thatsache, dass kleine Eisenstücke wirklich von einem Magnetpole angezogen werden. Wenn man ein kleines Stück Eisendraht *a b* (Fig. 74) an einem Faden aufhängt und ihm den nordsuchenden Pol eines Magnets nähert, so wird das Eisen durch Induktion magnetisiert; dasselbe dreht sich und zeigt nach dem Magnetpole, indem es sich so nahe als möglich längs einer Kraftlinie stellt und sein nahes Ende *b* ein südsuchender, sein entferntes Ende *a* ein nordsuchender Pol wird. Nun wird der Pol *b* angezogen und der Pol *a* abgestossen. Aber diese beiden Kräfte sind einander nicht gleich, da die Entfernungen ungleich sind. Die Abstossung ist nach dem Gesetze vom umgekehrten quadratischen Verhältnis proportional $\left(\frac{1}{Aa}\right)^2$ und die Anziehung proportional $\left(\frac{1}{Ab}\right)^2$; deshalb steht das Eisenstück *a b* unter dem Einflusse eines Kräftepaars, welches demselben eine bestimmte Richtung giebt, und auch unter dem Einflusse einer Resultierenden, welche es nach A zieht. Nur solche Körper werden von Magneten angezogen, in denen der Magnetismus auf solche Weise induziert werden kann; und sie werden nur wegen des in ihnen induzierten Magnetismus angezogen.

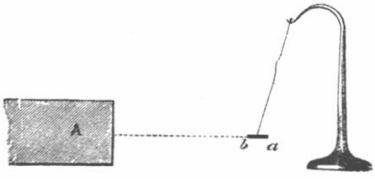

Fig. 74.

Wir erwähnten Art. 91, dass auf eine Magnetnadel, welche auf einem Stück Kork frei auf der Oberfläche einer Flüssigkeit schwimmt, Kräfte wirken, welche ihr eine bestimmte Richtung geben, dass jedoch dieselbe nicht wie im vorigen Falle, sich als Ganzes nach Norden oder Süden zu bewegen strebt. Die

Nadel erleidet eine Drehung, weil die Anziehung und Abstossung der Magnetpole der Erde in einer gewissen Richtung wirken; da aber die Magnetpole der Erde sich in einem ungeheuer grossen Abstande befinden im Vergleich zur Länge der schwimmenden Magnetnadel, so dürfen wir sagen, dass für alle praktischen Zwecke die Pole der Magnetnadel vom Nordpol der Erde gleich weit entfernt sind. Die anziehende Kraft, welche auf den nordsuchenden Pol der Nadel wirkt, ist deshalb für alle Fälle der Praxis nicht grösser, als die abstossende Kraft, welche auf den südsuchenden Pol ausgeübt wird. Daher erleidet die schwimmende Nadel als Ganzes keine forschreitende Bewegung: sie wird gerichtet, aber nicht angezogen.

130. Messung der magnetischen Kräfte. Die Richtigkeit des Gesetzes vom umgekehrten quadratischen Verhältnis lässt experimentell nachweisen, vorausgesetzt, dass wir ein Mittel haben, die Grösse der magnetischen Kräfte der Anziehung und Abstossung genau zu messen. Die magnetische Kraft kann nach einer der 4 folgenden Methoden gemessen werden: 1) indem man die Schwingungszeit einer Magnetnadel beobachtet, welche unter dem Einflusse der Kraft Schwingungen macht; 2) indem man die Ablenkung beobachtet, welche sie auf eine Magnetnadel hervorbringt, die bereits durch eine Kraft von bekannter Intensität abgelenkt ist; 3) indem man derselben durch die Torsion eines elastischen Fadens das Gleichgewicht hält; 4) indem man ihr durch die Schwerkraft das Gleichgewicht hält, welche hier in der Weise benutzt wird, dass man versucht, einen an 2 parallelen Fäden aufgehängten Magnet (oder einen *bifilar* aufgehängten Magnet) abzulenken, denn diese Fäden können nur dadurch aus ihrer parallelen Lage entfernt werden, dass der Schwerpunkt des Magnets höher zu liegen kommt.

131. Der Ablenkungsversuch. Fig. 75 zeigt einen Apparat, bei welchem eine Kompassnadel durch den einen Pol eines Magnets abgelenkt werden kann. Letzterer besteht aus einem langen, dünnen Stahlstabe, welcher so aufgestellt ist, dass sein oberer Pol sich stets über dem Mittelpunkte der Nadel be-

findet und daher derselben keine Drehung erteilt. In dieser Lage wirkt derselbe wie ein Magnet mit nur einem Pole, und dieser kann in verschiedene Abstände von der Nadel gebracht werden. Bei Anwendung einer besondern Tangentenskala (s. Art. 211) ergiebt sich, dass bei Verdopplung des Abstandes sich die ablenkende Kraft auf $^1/_4$ reduziert u. s. w.

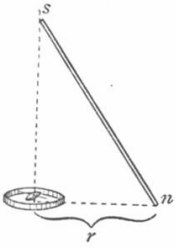

Fig. 75.

132. Die Torsionswage. Coulomb gebrauchte die Torsionswage zur Messung magnetischer Kräfte. Die wesentlichsten Bestandteile dieses Apparates (wie derselbe zur Messung der elektrischen Abstossung dient) wurden auf Seite 20 beschrieben. Fig. 76 zeigt, wie derselbe zur Messung der magnetischen Ab-

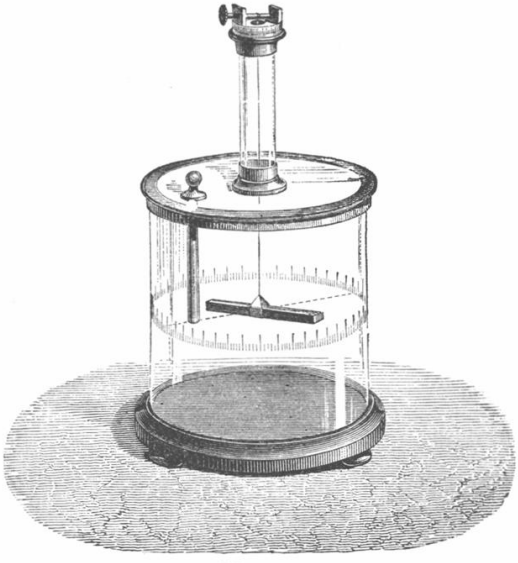
Fig. 76.

stossung eingerichtet ist. Um das Gesetz von den umgekehrten quadratischen Verhältnis zu beweisen, stellte Coulomb folgenden Versuch an: Der Apparat wurde zunächst so eingestellt, dass

eine in einer Kupferhülse an einem dünnen Silberdrahte aufgehängte Magnetnadel sich im magnetischen Meridian befand, ohne dass der Draht tordiert war. Dies bewerkstelligte er dadurch, dass er zuerst den Magnet in die Hülse legte und den Apparat annähernd einstellte, dann den Magnet durch einen gleich schweren Kupferstab ersetzte und den Apparat abermals einstellte, indem er auf diese Weise den Fehler durch wiederholte Versuche verringerte. Hierauf hatte er zu untersuchen, um wie viel Grad er die Torsionsscheibe am obern Ende des Fadens zu drehen hatte, damit die Nadel um 1 Grad aus dem magnetischen Meridian entfernt würde. Es stellte sich dabei heraus, dass auf 35^0 Drehung 1^0 Ablenkung des Magnets kam. Darauf brachte er einen zweiten Magnet derart in den Apparat, dass derjenige Pol desselben, welcher den Pol der aufgehängten Nadel abstiess, nach unten gerichtet war. Er fand, dass der Pol der Nadel um 24 Grad abgestossen wurde. Durch den vorhergehenden Versuch wissen wir, dass dieser abstossenden Kraft 24×35^0 der Torsionsscheibe entsprechen, und hierzu müssen wir noch die Tordierung des Drahtes, d. h. 24 , hinzufügen, so dass wir im Ganzen 864 haben, was wir das »Torsionsäquivalent« der abstossenden Kraft nennen wollen, für den Fall, wo die Pole um 24 von einander entfernt sind. Schliesslich wurde die Torsionsscheibe so gedreht, dass der aufgehängte Magnet dem festen Pole näher gebracht wurde, so lange, bis der Abstand zwischen den sich abstossenden Polen nur noch halb so gross wie anfänglich war. Es ergab sich, dass die Torsionsscheibe 8 volle Umdrehungen machen musste, damit die Pole einen Abstand von 12^0 hatten. Diese 8 Umdrehungen betragen $8 \times 360^0 = 2880^0$. Allein das untere Ende des Fadens war ausserdem noch im Vergleich zum obern Ende um 12^0 gedreht; die diese Drehung erzeugende Kraft entspricht daher einer Torsion von $12 \times 35^0 = 420^0$; hierzu muss noch die wirkliche Drehung von 12^0 hinzugefügt werden, so dass sich im Ganzen $2880^0 + 420^0 + 12^0 = 3312^0$ ergeben. Hieraus ergiebt sich, dass, wenn man den Abstand der Magnetpole um die Hälfte verkleinert, die Kraft *vier mal* so gross wird, denn 3312 ist fast

das vierfache von 864. Hätte man den Abstand der Pole auf den dritten Teil reduziert, so würde die Kraft 9 mal so gross gewesen sein. Setzen wir dies Gesetz als richtig voraus, so können wir die Torsionswage dazu gebrauchen, die Stärke von Magnetpolen zu messen, indem wir die Kräfte messen, welche sie in bekannten Abständen ausüben.

133. Methode der Schwingungen [1]). Wenn wir einen Magnet, welcher an einem Faden aufgehängt ist oder auf einer Spitze balanciert, aus seiner Ruhelage bringen, so schwingt derselbe hin und her, und zwar so, dass die Schwingungen in *fast genau gleichen* Zeiten ausgeführt werden, obgleich die Amplitude (Schwingungsbogen) derselben allmählich abnimmt. In der That folgen sie einem ähnlichen Gesetze, wie die Schwingungen eines Pendels, welches unter dem Einflusse der Schwerkraft schwingt. Das Gesetz der Pendelschwingungen heisst: *Das Quadrat der Zahl der in einer gewissen Zeit ausgeführten Schwingungen ist der Kraft proportional.* Folglich können wir magnetische Kräfte dadurch messen, dass wir die in einer Minute von einem Magnet gemachten Schwingungen zählen. Dabei darf man jedoch nicht vergessen, dass die wirkliche Anzahl der von einem gegebenen Magnet gemachten Schwingungen sowohl von dem Gewichte, der Länge und der Gestalt des Magnets, als auch von der Stärke des magnetischen Feldes, in welchem er sich befindet, abhängt (s. Art. 356).

Wir können diese Methode dazu benutzen, um die Intensitäten des Erdmagnetismus [2]) an zwei verschiedenen Orten mit einander zu vergleichen, indem man denselben Magnet an beiden Orten schwingen lässt. Wenn derselbe am ersten Orte *a* Schwingungen in der Minute macht, und am zweiten Orte *b* Schwingungen in

---

1) Man kann auch *elektrische* Kräfte durch eine »Methode der Schwingungen« messen; indem man eine kleine geladene Kugel, welche an dem einen Ende eines horizontal aufgehängten Stabes befestigt ist, unter der Einwirkung der anziehenden Kraft eines in ihrer Nähe befindlichen, geladenen Konduktors schwingen lässt, dessen »Kraft« in dieser Entfernung dem Quadrate der Schwingungen während einer gegebenen Zeit proportional ist.

2) oder genauer der *horizontalen Komponente* des Erdmagnetismus.

der Minute, so verhalten sich die magnetischen Kräfte beider Orte wie $a^2 : b^2$.

Ferner können wir die Methode dazu benutzen, um die Kraft, welche ein Magnet in der Nähe eines Ortes ausübt, mit der Kraft des Erdmagnetismus dieses Ortes zu vergleichen. Denn wenn wir eine kleine Magnetnadel irgendwo schwingen lassen, und wir finden, dass dieselbe unter der vereinten Einwirkung [1]) des Erdmagnetismus und des benachbarten Magnets m Schwingungen in der Minute macht, n Schwingungen dagegen nach Entfernung des Magnets unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, so ist m^2 den vereinten Kräften proportional, n^2 dagegen der vom Erdmagnetismus herrührenden Kraft, und die Differenz $m^2 - n^2$ ist der von dem benachbarten Magnet herrührenden Kraft proportional.

134. Oberflächenverteilung. Wir wollen jetzt die Methode der Schwingungen anwenden, um die relativen Mengen von Oberflächenmagnetismus in den verschiedenen Punkten eines Stabmagnets zu messen. Der zu prüfende Magnet wird aufrecht gestellt (Fig. 77). Ein kleiner Magnet, welcher horizontal schwingen kann, wird in seine Nähe gebracht und in geringem Abstande von seinem Ende aufgehängt und dann in Schwingung versetzt, wobei die Schwingungen während einer bestimmten Zeit gezählt werden. Nehmen wir an, dass die Nadel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein 3 volle Schwingungen in der Minute ausführen würde, dagegen 14, wenn sie in der Nähe des Poles des vertikalen Magnets schwingt, so ist die Kraft des letztern der Differenz $14^2 - 3^2 = 187$ proportional. Hierauf wollen wir die schwingende Nadel in demselben Abstande einer etwas tiefer ge-

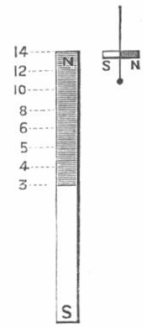

Fig. 77.

1) Wir nehmen in diesem Falle an, dass der Magnet so aufgestellt ist, dass seine Kraft mit der des Erdmagnetismus jenes Ortes gleiche Richtung hat, und dass der andere Pol des Magnets so weit entfernt ist, dass er auf die schwingende Nadel keinen Einfluss mehr ausübt.

legenen Stelle des Magnets gegenüber aufhängen. Schwingt sie hier 12mal in der Minute, so wissen wir, dass die Kraft der Differenz $12^2 - 3^2 = 135$ proportional ist. Auf diese Weise finden wir, dass mit abnehmender Kraft auch die Zahl der Schwingungen kleiner wird, und dass wenn wir die Nadel der Mitte des vertikalen Magnets gegenüber aufhängen, erstere nur noch 3 mal in der Minute schwingt, oder dass die erdmagnetische Kraft die einzige Kraft ist, welche auf die Schwingungen der Nadel von Einfluss ist. In Fig. 77 haben wir die Zahl der Schwingungen für die

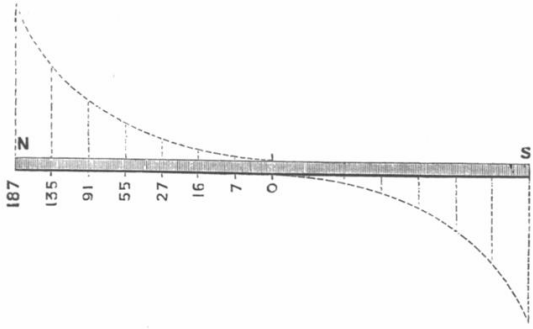

Fig. 78.

auf einander folgenden Stellen angegeben, nämlich 14, 12, 10, 8, 6, 5, 4 und 3. Wenn wir diese Zahlen quadrieren und jedesmal 9 abziehen, so erhalten wir für die Kräfte an den verschiedenen Stellen folgende Zahlen: 187, 135, 91, 55, 27, 16, 7 und 0. Von diesen Kräften können wir sagen, dass sie die Stärke des freien Magnetismus an den verschiedenen Stellen darstellen, und es ist zweckmässig, dieselben graphisch darzustellen, nach Art der Fig. 78, wo die Längen der punktierten Linien das Verhältnis der Kräfte darstellen sollen. Die Kurve, welche die Endpunkte dieser »Ordinaten« verbindet, zeigt graphisch, wie die Kraft, welche am Ende am grössten ist, nach der Mitte zu abnimmt. Auf einen entfernten Magnetpol würden diese durch das krummlinige Dreieck dargestellten Kräfte so wirken, als wenn sie in einem Punkte des Magnets vereinigt wären, welcher dem »Schwerpunkte« dieses Dreiecks gegenüber liegt; oder mit andern Worten

der »Pol«, welcher der Mittelpunkt der resultierenden Kräfte ist, liegt nicht am Ende des Magnets. In dünnen Stäben aus magnetisiertemStahl liegt er ungefähr um den zehnten Teil der Magnetlänge vom Ende entfernt.

135. Magnetisches Moment. Das Bestreben eines Magnets, einen zweiten Magnet abzulenken oder von ihm abgelenkt zu werden, hängt nicht allein von der Stärke m seiner Pole ab, sondern auch von der Poldistanz l. Das Produkt dieser beiden Grössen, $m\ l$, heisst das **magnetische Moment** des Magnets, und wird bisweilen mit M bezeichnet. Da die genaue Lage der Magnetpole oft unbekannt ist, so ist es leichter, die Grösse M zu bestimmen, als einzelne m oder l zu messen.

136. Methode der Ablenkungen. Es giebt mehrere Methoden, bei denen die Ablenkung eines Magnets durch einen zweiten Magnet benutzt werden kann, um magnetische Kräfte zu messen. Wir können hier nur eine Uebersicht der wichtigsten Grundsätze geben. Wenn zwei gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte auf die Enden eines unbiegsamen Stabes wirken, so streben sie denselben zu drehen. Solche 2 Kräfte nennt man ein »Kräftepaar«, und ihre Wirkung oder das »Moment« des Kräftepaares erhält man, wenn man eine der beiden Kräfte mit dem senkrechten Abstande der Richtungen der Kräfte multipliziert. Ein solches Kräftepaar strebt eine drehende, aber keine fortschreitende Bewegung zu erzeugen. Nun wirkt auf eine Magnetnadel, welche sich in einem magnetischen Felde in schräger Stellung zu den Kraftlinien befindet, ein »Kräftepaar«, welches bestrebt ist, sie in den magnetischen Meridian zu drehen, denn der nordsuchende und der südsuchende Pol werden nach Norden, resp. Süden durch 2 gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte getrieben. Die auf jeden Pol wirkende Kraft ist das Produkt aus der Polstärke und der Intensität des »Feldes«, d. h. der horizontalen Komponente der erdmagnetischen Kraft des Ortes. Wir wollen die Stärke des nordsuchenden Pols m nennen, und das Zeichen H gebrauchen, um die in horizontaler Richtung vom Erdmagnetismus ausgeübte Kraft darzustellen. (Der Wert von

H ist an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche verschieden.) Die auf den Pol A ausgeübte Kraft (Fig. 79) ist dann m . H und die auf den Pol B ausgeübte ist ebenso gross und entgegengesetzt gerichtet. Wir nehmen NS als die Richtung des magnetischen Meridians, so dass die Kräfte dieser Richtung parallel wirken. Nun bildet die Nadel AB einen Winkel mit dem Meridian NS, und die magnetische Kraft wirkt auf A in der Richtung der Linie PA und auf B in der Richtung QB, wie durch die Pfeile angedeutet ist. PQ ist der senkrechte Abstand der beiden Kräfte; daher erhält man das »Moment« des Kräftepaares, indem man die Länge PQ mit der auf einen der Pole ausgeübten Kraft multipliziert. Bezeichnet man das Moment des Kräftepaares mit Y, so ergiebt sich:

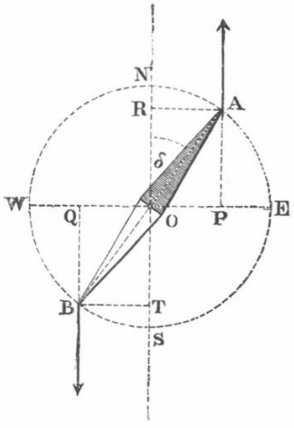

Fig. 79.

$$Y = PQ \times m . H.$$

PQ ist aber gleich der Länge des Magnets, multipliziert mit dem Sinus des Winkels AOR, dem Ablenkungswinkel, den wir δ nennen wollen. Bezeichnet man also den Abstand der beiden Pole mit l, so erhalten wir für das Moment des Kräftepaares:

$$Y = m\,l\,H . \sin \delta.$$

In Worten: Das »Moment des Kräftepaares«, welches auf die Nadel wirkt, ist ihrem »magnetischen Moment« $(m \times l)$, der horizontalen Kraft des Erdmagnetismus H, und dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional. — Der Leser wird bemerkt haben, dass der Abstand PQ um so grösser ist, je weiter die Nadel von der Richtung NS sich entfernt, und dass derselbe am grössten ist, wenn die Nadel die Richtung EW, d. h. von Westen nach Osten angenommen hat. Ebenso ist das »Moment« des Kräftepaares, welches den Magnet zu drehen strebt, um so kleiner, je mehr die Nadel in die Richtung NS gelangt.

137. Gesetz der Tangenten. Wir wollen jetzt annehmen, dass die Ablenkung δ durch eine magnetische Kraft bewirkt wird, welche rechtwinklig zum magnetischen Meridian wirkt, und den Pol A in der Richtung RA zu bewegen strebt. Die Länge der Linie RT, multipliziert mit der neuen Kraft, ist dann das Moment des neuen Kräftepaares, welches den Magnet in die Richtung EW zu drehen strebt. Wenn dann die Nadel unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte zur Ruhe gekommen ist, so ist klar, dass die beiden entgegengesetzten Drehungsmomente genau gleich sind, oder dass das Moment des einen Kräftepaares gleich dem Momente des andern Kräftepaares ist. Daher verhält sich die Kraft, welche in der Richtung WE wirkt, zu der Kraft, welche in der Richtung NS wirkt, wie PQ zu RT oder wie PO zu RO. Nennen wir diese Kraft f, so ist

$$f : \mathrm{H} = \mathrm{PO} : \mathrm{RO}$$

$$\text{oder} \qquad f = \mathrm{H} \,.\, \frac{\mathrm{PO}}{\mathrm{RO}}$$

PO ist aber gleich AR, und $\frac{\mathrm{AR}}{\mathrm{RO}} = \operatorname{tang} \delta$, daher

$$f = \mathrm{H} \,.\, \operatorname{tang} \delta$$

oder mit andern Worten: *die magnetische Kraft, welche rechtwinklig zum Meridian wirkt und einer Magnetnadel die Ablenkung δ erteilt, ist gleich der horizontalen Kraft des Erdmagnetismus an jenem Orte, multipliziert mit dem Tangens des Ablenkungswinkels.* Daraus folgt noch, dass zwei verschiedene magnetische Kräfte, welche rechtwinklig zum Meridian wirken, die Nadel einzeln um Winkel ablenken, *deren Tangenten den Kräften proportional sind.* Dieser höchst wichtige Satz wird bei der Konstruktion gewisser Galvanometer benutzt (vergl. Art. 207).

138. Magnetometer. Den Namen **Magnetometer** giebt man jedem Magneten, welcher speziell dazu eingerichtet ist, um magnetische Kräfte durch die Ablenkungen, welche sie hervorbringen, zu messen. Die Methoden, die *absoluten* Werte magnetischer Kräfte in *Kilogrammetern* oder andern abstrakten Krafteinheiten zu ermitteln, sollen in Art. 356 erklärt werden.

Sehr einfache Magnetometer, welche aus kleinen, auf einer Spitze balancierten oder an einem Faden aufgehängten Nadeln bestehen, wendet man gewöhnlich zur Messung der *relativen* Werte magnetischer Kräfte an. Eine sehr empfindliche Form (Fig. 80), welche, wie das Reflexionsgalvanometer (Art. 210) einen Lichtstrahl als Zeiger benutzt, besteht aus einem kleinen, dünnen mit Folie belegtem Glasspiegel von circa 1 cm Durchmesser, an dessen Rückseite 2 bis 3 sehr leichte Magnete befestigt sind und der in einem geeigneten Gehäuse mittelst eines einfachen Coconfadens aufgehängt ist. Eine andere brauchbare Form (Fig. 81) besteht aus einer kurzen Kompassnadel, welche auf einer Spitze balanciert und einen leichten Zeiger aus Aluminium trägt, der über einer nach Tangenswerten konstruierten Skala spielt (s. Art. 207).

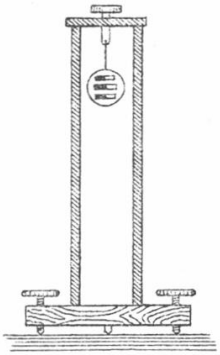

Fig. 80.

Ein geeignetes Ablenkungs-Magnetometer zur Vergleichung der magnetischen Momente zweier Magnete ist eine derartige Tangentenboussole, welche in die Mitte einer graduierten Scheibe gestellt wird. Man kann diesen Apparat in doppelter Weise gebrauchen:

1) Die Scheibe wird in die magnetische Ost-West Richtung gestellt und der ablenkende Magnet mit der *schmalen* Seite der Nadel zugekehrt (Fig. 82). In diesem Falle findet man, dass die Kraft dem magnetischen Moment direkt und dem Kubus des Abstandes der Mittelpunkte der Magnete umgekehrt proportional ist, d. h.

$$f = \frac{2M}{r^3}$$

Nun haben wir aber früher gesehen, dass $f = H. \tan \delta$ ist, wo H die horizontale Komponente des Erdmagnetismus bedeutet für einen Ort, dessen Ablenkung δ ist; folglich:

$$\frac{2M}{r^3} = H. \tan \delta, \text{ oder } M = \tfrac{1}{2}\, r^3\, H. \tan \delta$$

2) Die Scheibe wird in die Nord-Süd Richtung gestellt und der ablenkende Magnet mit der *breiten* Seite der Nadel zuge-

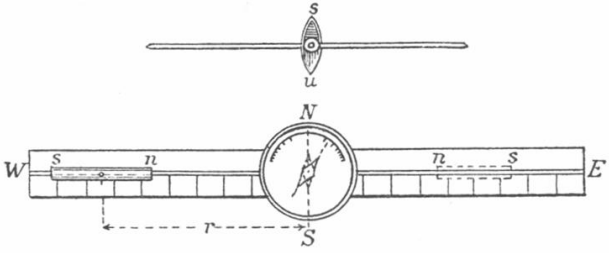

Fig. 81 und 82.

kehrt. (Fig. 83.) Dann lenkt der Magnet die Nadel in entgegengesetzter Richtung ab und zwar mit der Hälfte der Kraft, die er bei gleichem Abstande in der vorigen Stellung ausgeübt haben würde. Die Kraft ist aber immer noch dem Kubus des Abstandes umgekehrt proportional, also:

$$f = \frac{M}{r^3}, \text{ folglich } M = r^3 . H . \tan \delta .$$

139. Methode der Wägung. Bei jeder Stellung der Magnetometerscheibe kann man auf jede Seite der Nadel einen Magnet legen und so lange hin und her schieben, bis die Wirkungen der beiden Magnete einander das Gleichgewicht halten. Auf diese Weise lässt sich das Verhältniss ihrer magnetischen Momente durch das Verhältniss ihrer entsprechenden Abstände ausdrücken, nämlich:

$$M_1 : M_2 = r_1^3 : r_2^3 .$$

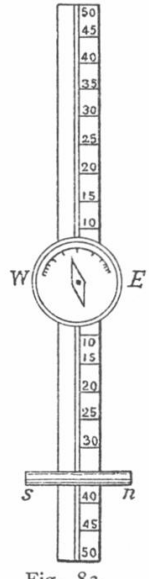

Fig. 83.

140. Magnetische Wage von Hughes. Ein sehr geeignetes Instrument, die magnetischen Eigenschaften verschiedener Eisen- oder Stahlproben zu prüfen, erfand Hughes im Jahre 1884. Die zu untersuchende Probe wird in eine magnetisierende Spule *A* (Fig. 84) geschoben und ein Strom um dieselbe geführt. Sie lenkt eine leicht beweglich auf-

gehängte Nadel B ab. Diese wird hierauf wieder in die Anfangslage gebracht, dadurch dass man einen grossen kompensierenden Magnet M um seinen Mittelpunkt dreht. Ausserdem

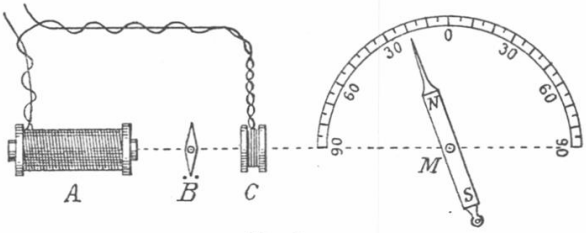

Fig. 84.

kommt noch eine kleine Spule C zur Anwendung, welche der direkt ablenkenden Wirkung der Spule A das Gleichgewicht hält. Der Verfasser dieser Vorlesungen hat nachgewiesen, dass, wenn der Abstand zwischen M und B 2, 3 mal so lang ist wie der Magnet M, der Winkel, um welchen M gedreht wird, proportional ist der magnetischen Kraft, welche dem Eisenkerne in A entspricht, vorausgesetzt, dass der Winkel kleiner als 60^0 ist.

141. Einheit der Polstärke. Das zweite magnetische Kraftgesetz (vergl. Art. 128) setzte fest, dass die zwischen 2 Polen ausgeübte Kraft dem Produkte ihrer Polstärken direkt und dem Quadrate ihres Abstandes umgekehrt proportional ist. Nun kann man die Einheit der Polstärke aber so wählen, dass diese Proportionalität eine numerische Gleichheit wird.

Zu dem Zwecke stellen wir die folgende Definition für Einheit der Polstärke oder magnetische Poleinheit auf: *Ein magnetischer Pol Eins ist ein solcher, welcher einen gleichartigen Pol von derselben Stärke im Abstande von 1 Zentimeter mit einer Kraft von einem Dyn abstösst* (vergl. Art. 347). Lassen wir diese Definition gelten, so können wir das zweite magnetische Kraftgesetz folgendermassen ausdrücken:

$$f = \frac{m \times m'}{d^2};$$

hierin bedeutet f die Kraft (in Dyn), m und m' die beiden Polstärken und d den Abstand der Pole (in Zentimetern). Aus

dieser Definition erklärt sich die willkürliche Festsetzung über magnetische Linien. Wenn wir uns irgendwo in einem magnetischen Felde einen Einheitspol aufgestellt denken, so wird auf demselben eine Kraft ausgeübt, und derselbe ist bestrebt sich längs der Linien des Feldes zu bewegen. Wenn sich dann ergiebt, dass an jener Stelle die auf den Pol ausgeübte Kraft H Krafteinheiten beträgt, so können wir schliessen, dass dort H Linien pro Quadratzentimeter vorhanden sind. Wenn wir z. B. sagen, das Feld hätte 50 Linien pro Quadratzentimeter, so bedeutet dies, dass auf einen dort befindlichen Einheitspol eine Kraft von 50 Einheiten ausgeübt wird. Diesen Gegenstand nimmt die 26. Vorlesung, Art. 333 wieder auf, wo die Theorie des magnetischen Potentials behandelt wird.

142. **Theorie der magnetischen Kurven.** Wir sahen im Art. 119, dass man magnetische Figuren durch Eisenfeilspähne erzeugen kann, welche sich innerhalb des Kraftfeldes eines Magnets in gewissen Linien festsetzen. Wir können jetzt mit Hilfe des Gesetzes vom umgekehrten quadratischen Verhältnis die Linien bestimmen, in welchen sich ein Eisenteilchen in irgend einem Punkte des Feldes festsetzt. Es sei NS (Fig. 85) ein langer,

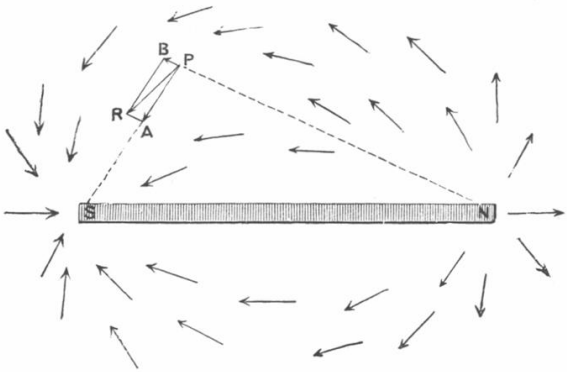

Fig. 85.

dünner Magnet, und P irgend ein Punkt in dem von seinem Magnetismus herrührenden Felde. Befindet sich der nordsuchende Pol eines kleinen Magnets in P, so wird derselbe von S ange-

zogen und von N abgestossen; die Richtungen dieser beiden Kräfte fallen mit den Linien PS und PN zusammen. Die Intensitäten der Kräfte können durch bestimmte auf diesen Linien abgetragene Längen dargestellt werden. Nimmt man an, dass der Abstand PN doppelt so gross ist, wie PS, so ist die abstossende Kraft in der Richtung PN gleich $\frac{1}{4}$ der anziehenden Kraft in der Richtung PS. Deshalb mache man die Kraft PA in der Richtung von P nach A viermal so lang, wie die Kraft PB in der Richtung von N nach P. Dann konstruiere man die Resultierende [1]), nach der bekannten Methode über Zusammensetzung mechanischer Kräfte, indem man die beiden Kräfte PA und PB zu dem Parallelogramm PARB vervollständigt; die Diagonale PR giebt alsdann nach Länge und Richtung die resultierende magnetische Kraft im Punkte P an. In der That stellt PR die Linie dar, längs welcher sich ein kleiner Magnet oder ein Eisenteilchen festsetzen würde. Auf dieselbe Weise können wir für jeden Punkt des Feldes die Richtung der Kraftlinien bestimmen. Die kleinen Pfeile in Fig. 85 zeigen, wie die Kraftlinien vom N.-Pole auslaufen und im Bogen zum S.-Pole führen. Man vergleiche diese Figur mit den Linien von Fig. 61. Daher haben wir uns vorzustellen, dass jeder Magnet von diesen magnetischen Linien durchdrungen ist, und dass dieselben sich in den umgebenden Raum erstrecken. Die Gesammtzahl der magnetischen Linien, welche durch einen Magnet führen, nennt man seine magnetische Flut (Art. 332).

143. Ein magnetisches Paradoxon. Hält man den nordsuchenden Pol eines starken Magnets in einiger Entfernung von dem gleichnamigen Pole eines schwachen Magnets, so stösst er denselben ab. Wird er jedoch ganz dicht an denselben gebracht, so *zieht* er ihn an. Dieser paradoxe Versuch erklärt sich aus dem Umstande, dass der Magnetismus, welchen der kräftige Magnet in dem schwächern induziert, von entgegengesetzter Art ist und deshalb angezogen wird; und falls nur der kräftige

1) Man vergleiche die Lehre vom Parallelogramm der Kräfte in den Lehrbüchern der Physik.

Magnet nahe ist, so kann dieser induzierte Magnetismus den ursprünglichen Magnetismus des schwachen Magnets überwinden. Der Leser muss beachten, dass bei den meisten Versuchen mit Magnetpolen ähnliche störende Erscheinungen auftreten. Der Magnetismus eines Magnets ist nicht völlig *fixiert,* sondern seine Verteilung ist infolge der Nähe anderer Magnetpole Störungen unterworfen; denn kein Stahl ist so hart, als dass er nicht noch vorübergehend durch magnetische Induktion beeinflusst würde.

XII. VORLESUNG: *Erdmagnetismus.*

144. Der Schiffskompass. Im Art. 87 wurde erwähnt, dass der bei Mechanikern käufliche Kompass aus einer magnetisierten Stahlnadel besteht, welche auf einer feinen Spitze über einer mit den Himmelsgegenden versehenen Karte schwebt. Der **Schiffskompass** hat jedoch eine etwas andere Einrichtung.

Fig. 86 zeigt eine der Einrichtungen des Schiffskompasses, wie derselbe zu nautischen Beobachtungen benutzt wird. Die

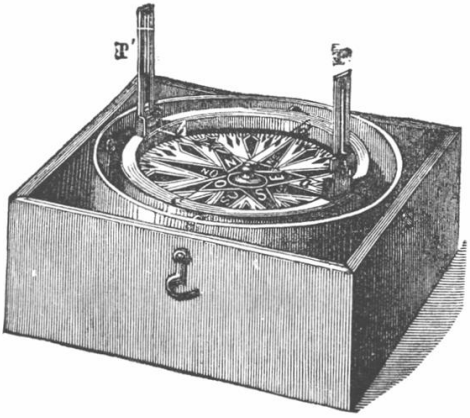

Fig. 86.

in die 32 »Punkte des Kompasses« eingeteilte Karte ist hier an der Nadel befestigt, und dreht sich gleichzeitig mit derselben, so dass der mit N bezeichnete Punkt *der Karte* stets nach Norden

zeigt. Bei den neuesten und besten Schiffskompassen sind mehrere Magnetnadeln nebeneinander gestellt, da es sich herausgestellt hat, dass die Angaben solcher zusammengesetzten Nadeln zuverlässiger sind. Die eisernen Beschläge hölzerner Schiffe und eiserne Schiffe selbst beeinflussen den Kompass, welcher deshalb durch kompensierende, in seiner Nähe befindliche Eisenmassen geschützt werden muss, falls man denselben nicht oben auf einem Maste aufstellen will. Den vom Magnetismus des Schiffes herrührenden Fehler des Kompasses nennt man *Deviation.*

145. Die Erde ein Magnet. Gilbert machte die wichtige Entdeckung, dass die Kompass-Nadel deshalb nach Norden und Süden zeigt, weil die Erde selbst ebenfalls ein grosser Magnet ist. Die Magnetpole der Erde fallen jedoch nicht ganz mit dem geographischen Nordpol, resp. Südpol zusammen. Der magnetische Nordpol der Erde liegt in einer Entfernung von mehr als 1000 Meilen vom geographischen Nordpole, nämlich 70° 5′ nördlicher Breite und 96° 46′ westlicher Länge. Derselbe wurde im Jahre 1831 von J. C. Ross auf der Insel Boothia Felix, gerade auf dem Polarkreise, aufgefunden. Den magnetischen Südpol der Erde hat man bis jetzt noch nicht erreicht; wegen der unregelmässigen Verteilung des Magnetismus scheinen übrigens 2 magnetische Südpole zu existieren.

146. Deklination. Infolge dieser natürlichen Verteilung zeigt die Kompassnadel nicht an allen Orten der Erde nach dem wahren Norden, resp. Süden. In London z. B. zeigte die Kompassnadel im Jahre 1894 ungefähr 17° westlich vom wahren Norden und im Jahre 1900 wird sie 16° 16′ zeigen. Dieser Winkel zwischen dem »magnetischen Meridian« [1]) und dem geographischen Meridian eines Ortes heisst seine magnetische **Deklination.** Die Deklination entdeckte Columbus im Jahre 1492; dieselbe scheint den Chinesen schon früher bekannt ge-

1) Der *magnetische Meridian* eines Ortes ist eine gedachte Ebene, welche man sich durch den Zenith, den magnetischen Nordpol und Südpol gelegt denken kann; man beobachtet die letzteren an einer horizontal aufgehängten Kompassnadel.

wesen zu sein, und soll in Europa von Peter Peregrinus schon zu Anfang des 13. Jahrhunderts beobachtet worden sein. Die Thatsache, dass die Deklination an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche eine andere ist, ist ohne Zweifel die Entdeckung des Columbus. —

Damit man sich beim Steuern eines Schiffes nach dem Kompass richten kann, muss man magnetische Karten (Art. 149) anfertigen und die Deklination an verschiedenen Orten genau messen. Die vertikalen Stäbe PP′ des in Fig. 86 abgebildeten »Azimut Kompasses« haben den Zweck, einen Stern in Augenschein zu nehmen, dessen Stellung man aus astronomischen Tabellen kennt, um auf diese Weise den magnetischen Meridian des Ortes mit dem geographischen Meridian vergleichen und den Winkel zwischen ihnen berechnen zu können.

147. Inklination. Der Instrumentenmacher Norman fand im Jahre 1576, dass eine schwebende Magnetnadel das Bestreben hat, mit ihrem Nordende sich nach unten zu neigen. Er fertigte daher eine **Inklinationsnadel** an, welche sich in einer vertikalen Ebene um eine horizontale Achse drehen konnte. Es ergab sich, dass die Inklination in London 71° 50′ betrug. Fig. 87 zeigt eine einfache Form der Inklinationsnadel. Die in dem magnetischen Observatorium zu Kew gebrauchten Inklinatorien sind weit genauere und empfindlichere Instrumente. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die Inklination ebenso wie die Deklination, an verschiedenen Orten der Erdoberfläche verschieden ist und dass sie jährlichen Aenderungen unterliegt. Die Inklination in London betrug für das Jahr

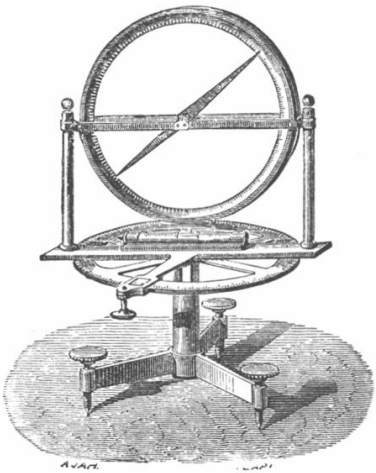

Fig. 87.

1894 67° 18′. Im Jahre 1900 wird dieselbe 67° 9′ betragen. Am magnetischen Nordpol stellt sich die Inklinationsnadel aufrecht. Die folgende Tabelle enthält Angaben der Deklination, der Inklination und der totalen magnetischen Kraft für mehrere wichtige Plätze, wobei die Werte annähernd für das Jahr 1900 richtig sind:

	Dekl.	Inkl.	Totale Kraft in C.G.S.-Einheiten.
London	16° 16′ W	67° 9′ N	0,47
St. Petersburg . . .	0° 30′ O	70° 46′ N	0,48
Berlin	9° 30′ W	66° 43′ N	0,48
Paris	14° 30′ W	64° 55′ N	0,47
Rom	10° 0′ W	58° 0′ N	0,45
New-York	9° 12′ W	70° 6′ N	0,61
Washington	4° 35′ W	70° 18′ N	0,60
San Francisko . . .	16° 42′ O	62° 20′ N	0,54
Mexiko	8° 0′ O	45° 1′ N	0,48
St. Helena	25° 0′ W	32° 12′ S	0,31
Kapstadt	29° 24′ W	58° 2′ S	0,36
Sydney	9° 36′ O	62° 45′ S	0,57
Hobarton	25° 0′ O	71° 12′ S	0,64
Bombay	0° 36′ O	20° 38′ N	0,37
Tokio	4° 6′ W	49° 52′ N	0,45

148. Intensität. Um den Magnetismus eines Ortes genau anzugeben, muss man dreierlei kennen, die Deklination, die Inklination und die Intensität der magnetischen Kraft. Letztere wird nach einer der in der vorhergehenden Vorlesung angeführten Methoden gemessen. Ihre Richtung ist die der Inklinationsnadel, welche sich, wie jeder Magnet, längs der Kraftlinien einzustellen strebt. Es ist jedoch praktischer, nicht die totale Intensität der Kraft in der Richtung der Inklination, sondern bloss die horizontale Komponente der Kraft, d. h. denjenigen Teil der Kraft, welcher in die Richtung der horizon-

talen Kompassnadel fällt, zu messen, aus welcher die totale Kraft berechnet werden kann, wenn man die Inklination kennt[1]). Oder wenn die horizontale und die vertikale Komponente der Kraft bekannt sind, so können sowohl die totale Kraft als auch der Winkel der Inklination berechnet werden[2]). Die horizontale Komponente der Kraft oder die »Horizontal-Intensität« findet man entweder durch die Methode der Schwingungen oder durch die Methode der Ablenkung. Die mittlere Horizontalkraft des Erdmagnetismus betrug für das Jahr 1890 in London 0,1823 Krafteinheiten, die mittlere Vertikalkraft 0,4377 und die totale Kraft (in der Inklinationslinie) 0,4741 Krafteinheiten. Die Verteilung der magnetischen Kraft an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ist unregelmässig, und variiert in den verschiedenen Breiten nach einem Näherungsgesetze, welches Biot aufstellte und wonach die Kraft dem Ausdrucke $\sqrt{1 + 3 \sin^2 l}$ proportional ist, wo l die magnetische Breite bedeutet.

149. Magnetische Karten. Es ist zweckmässig, magnetische Karten anzufertigen, auf welche Angaben, wie die der letzten Tabelle, eingetragen werden können. Derartige Karten können in verschiedener Weise angefertigt werden. So könnte man z. B. auf einer Karte von England überall die Richtung der Magnetnadel angeben oder die Kraftlinien verzeichnen. Besser ist es, auf der Karte diejenigen Orte anzugeben, an welchen die Deklination dieselbe ist, und diese Orte durch eine Linie zu verbinden. In Plymouth zeigt die Magnetnadel im Jahre 1900 18° westlich vom geographischen Norden. In Lynton, Shrewsburg, und Berwick ist die Deklination für jenes Jahr ebenso gross, wie in Plymouth. Deshalb kann eine Linie, welche diese Städte verbindet, *eine Linie gleicher Deklination* oder eine **isogonische Linie** genannt werden. Wir könnten in ähnlicher

1) Denn ist H die horizontale Komponente der Kraft, I die totale Kraft und Θ der Inklinationswinkel, so ist $I = \frac{H}{\cos \Theta}$.

2) Denn $H^2 + V^2 = I^2$, wo V die vertikale Komponente der Kraft bedeutet.

Weise eine magnetische Karte anfertigen, auf welcher alle diejenigen Linien verzeichnet wären, welche Orte mit gleicher *Inklination* verbinden; solche Linien heissen **Isoklinen.** In England gehen sie von West-Süd-West nach Ost-Nord-Ost. Auf dem Globus gehen die isogonischen Linien grösstenteils vom magnetischen Nordpole nach der magnetischen Südpolarregion, doch ist ihre Gestalt infolge der unregelmässigen Verteilung des Erdmagnetismus ziemlich verwickelt. Die Isoklinen des Globus führen um die Erde wie die Breitenkreise, sind jedoch ebenfalls von unregelmässiger Gestalt. So läuft z. B. diejenige Linie, welche die Orte verbindet, an welchen der Nordsuchende Pol der Magnetnadel eine Inklination von 70° hat, quer durch England und Wales, geht durch Süd-Irland, durchschneidet alsdann den Atlantischen Ozean in südwestlicher Richtung, führt durch die Vereinigten Staaten mit nördlicher Abweichung und trifft gerade die südliche Spitze der Halbinsel Alaska. Dann geht sie beim Durchschneiden von China wieder etwas südwärts, krümmt sich jedoch beim Eintritt in russisches Gebiet wieder nach Norden. Schliesslich durchschneidet sie den südlichen Teil der Ostsee und führt durch die Nordsee nach England zurück.

150. Variationen des Erdmagnetismus. Wir haben bereits erwähnt, dass Deklination wie Inklination mehrfachen Aenderungen unterworfen sind; einige diese Aenderungen gehen sehr langsam vor sich, andere finden jedes Jahr statt, und noch andere jeden Tag.

Diejenigen Aenderungen, welche sich erst nach vielen Jahren wiederholen, heissen *säkulare Aenderungen.*

Die Variationen der *Deklination* sind erst seit dem Jahre 1580 aufgezeichnet: die Magnetnadel zeigte damals in London 11° östlich vom geographischen Norden. Diese östliche Deklination nahm allmählich ab, bis die Nadel im Jahre 1657 genau nach Norden zeigte. Dann bewegte sie sich weiter nach Westen, und erreichte um das Jahr 1816 ein Maximum von 24° 27′. Von dieser Zeit an ist die Deklination langsam bis auf ihren augenblicklichen Wert von 16′ 57′ herabgesunken; in England

nimmt sie jährlich um circa 7′ ab. Um das Jahr 1976 wird die Nadel wieder genau nach Norden zeigen, indem sie in etwa 320 Jahren einen vollständigen Cyklus von Aenderungen ausführt.

Die *Inklination* betrug 71° 50′ für das Jahr 1576 und nahm langsam bis zum Jahre 1720 zu, wo der Inklinationswinkel den Maximalwert von 74° 42′ erreichte. Seitdem hat die Inklination beständig abgenommen bis auf ihren augenblicklichen Wert von 67° 39′. Die Periode, in welcher ein Cyklus vollendet wird, ist nicht bekannt, doch ist die Aenderung der Inklination augenblicklich verhältnissmässig geringer, als vor 50 Jahren. Auf der ganzen Erde ändern sich nach und nach Deklination und Inklination. Die folgende Tabelle enthält die Angaben der säkularen Aenderungen in London.

Jahr	Deklination.	Inklination.	Jahr	Deklination.	Inklination.
1576	—	71° 50′	1780	—	72° 8′
1580	11° 17′ O	—	1800	24° 6′	70° 35′
1600	—	72° 0′	1816	24° 30′ max.	—
1622	6° 12′	—	1830	24° 2′	69° 3′
1634	4° 0′	—	1855	23° 0′	—
1657	0° 0′ min.	—	1868	20° 33′	68° 2′
1676	3° 0′ W.	73° 30′	1878	19° 14′	67° 43′
1705	9° 0′	—	1880	18° 40′	67° 40′
1720	13° 0′	74° 42′ max.	1890	17° 26′	67° 23′
1760	19° 30′	—	1900	16° 16′	67° 9′

Der Wert der *totalen magnetischen Kraft* oder der »Intensität« ändert sich ebenfalls allmählich. In der Nähe von London ergab die Messung der Insensität 0,4791 Krafteinheiten im Jahre 1848, 0,4740 im Jahre 1866, im Jahre 1880 0,4736 Krafteinheiten und im Jahre 1890, 0,4741 Krafteinheiten [1]).

151. Tägliche Aenderungen. Bei genauer Beobachtung

1) D. h. ein magnetischer Nordpol von der Stärke 1 wird in der Richtung der Inklinationsnadel von einer mechanischen Kraft von etwas weniger als einer halben Krafteinheit getrieben.

zeigen Deklinations- und Inklinationsnadel kleine tägliche Schwankungen. Um 7 Uhr vormittags beginnt die Kompassnadel eine Bewegung nach Westen und das dauert bis 1 Uhr nachmittags; nachmittags bewegt sich die Nadel langsam nach Osten zurück, bis circa 10 Uhr abends; hierauf bleibt sie in Ruhe; aber im Sommer fängt die Nadel ungefähr um Mitternacht wieder eine schwache Bewegung nach Westen an, und dreht dann noch vor 7 Uhr morgens wieder nach Osten um. Diese geringen Schwankungen — sie betragen nie mehr als 10′ — scheinen mit der Stellung der Sonne im Zusammenhange zu stehen; auch übt der Mond einen schwachen Einfluss auf die Stellung der Nadel aus.

152. Jährliche Aenderungen. Es findet auch eine jährliche Aenderung statt, welche der Bewegung der Erde um die Sonne entspricht. In Gross-Britannien ist die totale Kraft im Juni am grössten und im Februar am schwächsten, aber auf der südlichen Halbkugel, in Tasmanien ist es gerade umgekehrt. Die Inklination ist ebenfalls je nach der Jahreszeit verschieden, und zwar ist der Inklinationswinkel in England während der vier Sommermonate kleiner als die übrige Zeit des Jahres.

153. Die 11-jährige Periode. Der General Sabine fand, dass alle 11 Jahre eine beträchtlichere Aenderung der Deklination stattfindet. Schwabe bemerkte, dass die Wiederkehr dieser Perioden mit den 11jährigen Perioden zusammenfällt, wo wir ein Maximum von *Sonnenflecken* haben. Professor Balfour Stewart und andere haben versucht, eine gleiche periodische Wiederkehr des **Nordlichts** [1]) und anderer Naturerscheinungen festzustellen.

154. Magnetische Stürme. Man hat bisweilen beobachtet, dass eine plötzliche (obgleich sehr geringe) unregelmässige Störung bei allen Kompassnadeln eines beträchtlichen Gebietes der Erdoberfläche stattfindet. Solche Erscheinungen sind als magnetische Stürme bekannt; sie treten häufig gleichzeitig mit einem Nordlichte auf.

155. Selbst-aufzeichnende magnetische Apparate.

---

1) Vergl. Vorlesung XXIV, über Atmosphärische Elektrizität.

In Kew und andern magnetischen Observatorien werden die täglichen und stündlichen Variationen der Magnetnadel in einem fortlaufenden Register verzeichnet. Man verfährt dabei auf folgende Weise: Von einer Lampe lässt man einen Lichtstrahl auf einen kleinen Spiegel fallen, welcher an dem Magnet angebracht ist, dessen Bewegung man beobachten will. Auf diese Weise wird ein heller Fleck auf einen Streifen Photographie-Papier reflektiert, welches so präpariert ist, dass es für Licht empfänglich ist. Durch ein Uhrwerk wird das Papier beständig weiter bewegt, und wenn der Magnet in Ruhe ist, so besteht die dunkle Spur auf dem Papier einfach aus einer geraden Linie. Bewegt sich aber der Magnet seitwärts, so verschiebt sich der vom Spiegel reflektierte Lichtfleck, und die photographierte Linie ist alsdann eine Kurve. Es steht zu erwarten, dass man durch Vergleichung solcher Aufzeichnungen von »*Magnetographen*« an weit von einander entfernten Beobachtungsstationen noch mehr Aufschluss über die Ursache des Erdmagnetismus und seiner Variationen erhält, worüber man bisher noch nichts gewisses feststellen konnte. Schuster hat gezeigt, dass diese Aenderungen im Allgemeinen eine äussere, nicht eine innere Ursache haben.

156. Theorie des Erdmagnetismus. Die Erscheinung der Erdströme (Art. 228) scheint mit den Variationen des Erdmagnetismus im Zusammenhange zu stehen und lässt sich stets beim Auftreten eines Nordlichts oder während eines magnetischen Sturmes beobachten; doch ist bis jetzt noch nicht festgestellt, ob diese Ströme von den Variationen des Erdmagnetismus herrühren oder ob umgekehrt diese Variationen eine Folge der Ströme sind. Man weiss, dass die Verdunstung (Art. 71), welche in den Tropen beständig vor sich geht, zur Folge hat, dass die aufsteigenden Ströme erhitzter Luft im Vergleich zur Erde + elektrisch werden. Diese Luftströme bewegen sich nordwärts und südwärts nach den kältern Polargegenden, wo sie dann niedersinken. Diese elektrischen Luftströme wirken wie wirkliche elektrische Ströme (Art. 392), und da sich die Erde in ihnen dreht, so wird auf dieselbe ein magnetischer Einfluss aus-

geübt. Der Verfasser hat 12 Jahre lang die Ansicht vertreten, dass nur mit Hilfe dieser thermodynamischen Erzeugung der Polarströme in Verbindung mit der täglichen Drehung der Erde sich das Wachsen des Erdmagnetismus bis zu seiner augenblicklichen Stärke wirklich erklären lässt. Durch die Einwirkung der Sonne und des Mondes bei Ebbe und Flut in der Atmosphäre liessen sich die in Art. 150 erwähnten Variationen ebenfalls erklären. Man muss beachten, dass bei allen magnetischen Stürmen die grössten Störungen in den den Polen am nächsten liegenden Gegenden statt finden, und dass die Magnetpole fast genau mit den Gegenden der grössten Kälte zusammenfallen; dass die Gegend, wo das Nordlicht am stärksten auftritt, sich fast symmetrisch um den Magnetpol herum erstreckt. Wir können noch hinzufügen, dass die schwachen täglichen Erdströme im Allgemeinen von den Polen nach dem Aequator zu gerichtet sind.