

## Ueber den Erdmagnetismus.

---

Unter den Eisenerzen kommt eine Verbindung von Eisenorydul und Eisenoryd vor, welche den Namen Magneteisenstein führt und sich durch zwei Eigenschaften auszeichnet, die bei andern Körpern im Allgemeinen nicht angetroffen werden. Ein solcher natürlicher Magnet äußert nämlich besonders auf Eisen eine Anziehungskraft und besitzt Polarität, vermöge welcher er, wenn er sich um seinen Schwerpunkt frei drehen kann, eine ganz bestimmte Lage gegen den Horizont und die Weltgegenden annimmt. Dieselben beiden Eigenschaften kann man auch in einem gehärteten Stahlstabe bleibend hervorrufen, \*) wenn man ihn auf eine gewisse Art mit einem natürlichen Magnet streicht.

Giebt man den künstlichen Magneten die Form eines Stabes oder einer Nadel, so läßt sich ihre Polarität leicht anschaulich machen. Es wird hinreichen, einen Magnetstab (oder eine Magnetnadel) auf solche Art mittelst eines Fadens aufzuhängen, daß er, horizontal schwebend, sich in der horizontalen Ebene drehen kann, um deutlich zu sehen, daß er in einer ganz bestimmten

---

\*) Man weiß jetzt, daß außer dem gehärteten Stahle auch Nickel, Kobalt und andere Substanzen, die man zusammen magnetische Körper nennt, magnetische Eigenschaften annehmen können und Faraday hat 1845 die Entdeckung gemacht, daß sehr starke Magnete alle nicht magnetischen Körper abstoßen.

Vertikalebene sich im Gleichgewichte befindet und immer wieder durch eine Reihe von Schwingungen zu dieser zurückkehrt, wenn man ihn aus seiner Gleichgewichtslage entfernt hatte. \*) Diese Vertikalebene wird der magnetische Meridian genannt.

Im Zustande des Gleichgewichts bildet die Richtung der wagerecht schwebenden Magnetnadel an irgend einem Punkte der Erde gewöhnlich einen Winkel mit der Süd-Nordlinie des Ortes, der aber bisweilen auch  $0^\circ$  beträgt. Man nennt diesen Winkel die magnetische Abweichung oder Declination und sie ist eine östliche oder westliche, jenachdem das Nordende der Nadel sich östlich oder westlich von der Mittagslinie befindet.

Vermuthlich wird aber die Richtung der Magnetnadel eine andere sein, wenn sich diese ganz frei um ihren Schwerpunkt drehen kann. Bei der frühern Anordnung nämlich war es der Nadel wohl gestattet, sich in den magnetischen Meridian zu stellen, aber sie durfte die horizontale Ebene nicht verlassen, sie konnte sich in der Ebene des magnetischen Meridians nicht drehen, selbst wenn sie dazu ein Streben besessen hätte. Um diese Vermuthung bestätigt zu sehen, muß man für die Nadel einen andern Apparat construiren, welcher eine Drehung derselben auch in der Vertical-ebene zuläßt.

Man denke sich also in einem am Faden hängenden Rahmen die Nadel um eine horizontale Ase drehbar, welche vor der Magnetisirung der Stahlnadel durch ihren Schwerpunkt geführt wurde und man wird finden, daß die Magnetnadel sich zwar wieder in die Ebene des magnetischen Meridians stellt, aber zugleich in dieser Ebene eine Richtung annimmt, welche gegen den Horizont unter einem bestimmten Winkel geneigt ist. Diesen Winkel hat man die Neigung oder Inclination genannt. \*\*)

Die Richtung derjenigen Kraft, welche in einer Stahlnadel

---

\*) Hierbei versteht es sich von selbst, daß der Faden eine Drehung weder erzeugen, noch verhindern darf.

\*\*) Es ist hier nicht zu übersehen, daß unter der Inclination ein Verticalwinkel in der Ebene des magnetischen Meridians verstanden wird, da die Nadel in jeder andern Vertikalebene einen größeren Neigungswinkel hat, der bis zu  $90^\circ$  für jeden Ort auf der Erde anwachsen muß.

durch das Magnetisiren hervorgerufen wird, ist durch ihre Abweichung und durch die Neigung bestimmt, welche sie annimmt, wenn sie sich in der Ebene des magnetischen Meridians frei drehen kann. Diese Winkel haben aber nicht an allen Punkten der Erde denselben Werth. Während die Abweichung an dem von den Polen entfernteren Theile der Erdoberfläche gering ist, so daß die horizontal schwebende Nadel ungefähr von Süden nach Norden zeigt, nimmt diese in den Gegenden um die Erdpole alle möglichen Richtungen an, so daß es Punkte auf der Erde giebt, an welchen dasselbe Ende der Nadel sich nach Süden wendet, welches bei uns näherungsweise nach Norden gerichtet war. Ebenso sinkt das Nordende der Nadel immer tiefer unter den Horizont, je mehr man sich dem Nordpol nähert und die Neigung wird an einem gewissen Punkte der nördlichen Erdhälfte sogar  $90^\circ$ , während auf der andern Erdhälfte das Nordende der Nadel sich allmählig bis zu  $90^\circ$  über den Horizont erhebt.

Durch eine genauere Kenntniß der Aenderungen in der Richtung der magnetischen Kraft hoffte man, große Vortheile für die Schiffahrt zu erlangen. Dies veranlaßte den englischen Astronomen Halley, die Punkte gleicher Abweichung, wie sie durch die Seefahrer bekannt geworden waren, durch krumme Linien auf einer Karte zu verbinden, welche zeigen sollte, wie groß die Abweichung an jedem Punkte des Meeres für das Jahr 1700 wäre. Später wurde von Wilcke eine Karte herausgegeben, welche in ähnlicher Art den Zustand der Neigungen für dieselbe Zeit darstellte. Bei größerer Vollständigkeit und Genauigkeit der Beobachtungen können solche Karten, wenn sie für verschiedene Zeiten entworfen sind, zu einer Uebersicht der Veränderungen führen, welchen die Abweichung und Neigung im Laufe der Zeit unterworfen waren.

Hansteen gebührt das Verdienst, alle bis zum Jahre 1819 bekannt gewordenen Beobachtungen über die Richtung der magnetischen Kraft mit großem Fleiße nicht nur gesammelt, sondern auch die sie darstellenden Karten entworfen zu haben.

Um aber eine tiefere Einsicht in die Beschaffenheit des Magnetismus der Erde zu erlangen, genügt es nicht, die Richtung dieser Kraft allein zu erforschen, man muß auch Aufschluß

zu erhalten suchen über die Stärke oder Intensität der Kraft an den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche, wovon bis zu Anfange dieses Jahrhunderts fast jede Kenntniß fehlte. Erst als Alexander von Humboldt sich die große Aufgabe stellte, die Erde von jedem Standpunkte aus zu erforschen, welchen die Naturlehre darbietet, fand auch jene Frage in Betreff der magnetischen Intensität ihre Erledigung. Humboldt selbst und später Andere haben vermittelst der Schwingungszeit einer wagerecht schwebenden Magnetnadel, welche an vielen Punkten der Erde beobachtet wurde, die magnetischen Intensitäten an diesen Punkten verglichen. Die Verbindung zwischen der beobachteten Schwingungszeit und der magnetischen Intensität ist leicht nachzuweisen. Die wagerecht hängende Magnetnadel kann nur in der Ebene des magnetischen Meridians zur Ruhe kommen und muß in jeder andern Vertikalebene ein Bestreben zeigen, sich in den Meridian hineinzudrehen. Indem also die magnetische Kraft in der aus ihrer Gleichgewichtslage entfernten Nadel eine zunehmende Drehungsgeschwindigkeit erzeugt, erreicht dieselbe den magnetischen Meridian, muß sich aber über ihn hinausdrehen, bis ihre erlangte, größte Geschwindigkeit nach und nach wieder durch die ebensolange entgegenwirkende magnetische Kraft zerstört worden ist. Nun würde die Nadel durch die fortgesetzte Einwirkung der magnetischen Kraft auf demselben Wege zurückkehren und diese schwingende Bewegung ohne Aufhören fortsetzen müssen, wenn nicht zu gleicher Zeit noch andere Kräfte auf die Nadel einwirkten, wodurch ihr Schwingungsbogen sich allmählich zu  $0^\circ$  verkleinert und sie selbst im magnetischen Meridiane zur Ruhe kommt. So wird also die magnetische Kraft die Ursache einer fortgehenden Reihe von Schwingungen und je größer diese Kraft ist, desto größer muß die Drehungsgeschwindigkeit der Nadel und desto kürzer die Dauer einer Schwingung sein. Wird nun dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Punkten der Erde beobachtet, und darf man voraussetzen, daß sich ihr eigener Magnetismus nicht ändert, so kann man aus den beobachteten Schwingungszeiten auf die verschiedenen Intensitäten der magnetischen Kraft der Erde schließen. Wo aber die Inclination der Nadel nicht  $0^\circ$  beträgt, wird die beobachtete Schwingungszeit der horizontal hängenden Nadel auch nur zur Vergleichung des hori-

zontalen Theils der magnetischen Kraft der Erde dienen können; indessen läßt sich aus diesem Theile die Intensität der ganzen magnetischen Kraft leicht berechnen, sobald man die Inclination der Nadel beobachtet hat.

Auch die Punkte gleicher Intensitäten sind auf einer Karte durch krumme Linien verbunden worden und so läßt sich durch drei Karten der magnetische Zustand der Erde vollständig anschaulich machen. Dieser magnetische Zustand der Erde ist aber verschiedenen Veränderungen unterworfen. Eine von diesen Veränderungen geht langsam und lange Zeit in demselben Sinne vor sich. Es wächst nämlich für jeden Ort die Declination allmählig bis zu einer größten östlichen Abweichung an, nimmt dann wieder ab, geht nach und nach in eine westliche über, die erst dann wieder sich verkleinert, wenn sie ihren größten westlichen Werth erreicht hatte. So betrug in London die Declination im Jahre 1580 etwa  $11^{\circ}$  östlich und jetzt  $24^{\circ}$  westlich und ähnlich war für denselben Ort die Neigung im Jahre 1576 nahe an  $72^{\circ}$ , wuchs dann bis 1720 um einige Grade und nahm von dieser Zeit bis jetzt bis auf  $69^{\circ}$  ab. Man nimmt zwar auch hier, wie bei allen großen Veränderungen in der Natur eine Periode an, jedoch läßt sich ihre Dauer, die gewiß mehrere Jahrhunderte beträgt, wegen der Unvollständigkeit der Beobachtungen noch nicht bestimmen.

Eine zweite Veränderung des magnetischen Zustandes der Erde macht sich bemerkbar durch eine täglich wiederkehrende Schwankung in der Abweichung. Die Größe dieser täglichen Aenderung der Declination verändert sich mit den Jahreszeiten. Für Göttingen war sie nach Beobachtungen von Gauß und Goldschmidt von 8 Uhr Morgens bis 1 Uhr Nachmittags im April am größten (15 Minuten), im Dezember am kleinsten (5 Minuten).

Die dritte Art von Veränderungen in dem magnetischen Zustande der Erde steht mit der Tages- und Jahreszeit in keiner Verbindung. Sie tritt plötzlich ein und bewirkt, daß eine wagerecht hängende Magnetenadel anhaltend ihre Richtung verändert, bisweilen weniger merklich, oft aber in wenigen Minuten einen halben Grad oder mehr. Wenngleich die Bewegungen der Nadel etwa so erscheinen, als ob sie durch die Anzie-

lung in der Nähe befindlicher und in Bewegung gesetzter Eisenmassen hervorgerufen würden, so darf man sie doch nicht für örtliche Störungen in der Richtung der Nadel halten, weil sie in diesem Falle nicht an weit entfernten Punkten der Erde sich gleichzeitig zeigen könnten.

Die ältere Bemerkung, daß die Nordlichter einen störenden Einfluß auf die Magnetenadel ausüben, erhielt ein neues Gewicht durch Aragons ausgedehntere Verfolgung der magnetischen Erscheinungen in Paris; auch ging aus den Beobachtungen hervor, daß der Einfluß der Nordlichter nicht auf diejenigen Gegenden nur, wo sie sichtbar sind, beschränkt ist. Kupffer hatte nämlich in Casan während eines Nordlichts die Magnetenadel beobachtet und aus der Vergleichung ihrer Bewegungen mit den zu derselben Zeit in Paris bemerkten ergab sich zum ersten Male ihre Gleichzeitigkeit an beiden Orten.

Die von Humboldt 1828 bis 1830 veranlaßte Beobachtungsreihe, welche an zuvor verabredeten Tagen den Gang der horizontalen Magnetenadel in Berlin, Freiberg, Petersburg und Casan verfolgt und ihre Richtung von Stunde zu Stunde anzeigt, liefert ebenfalls Beispiele von der Gleichzeitigkeit sowohl der größeren durch sichtbare Nordlichter veranlaßten, als auch kleinerer Störungen ohne sichtbare Veranlassung.

Eine noch genauere Kenntniß dieser merkwürdigen, unregelmäßigen Bewegungen verdanken wir den Bemühungen des berühmten Mathematikers Gauß. Er erwarb im Jahre 1836 einer Beobachtungsreihe, welche die Magnetenadel bis in die kleinsten Einzelheiten ihrer Bewegungen verfolgen sollte, viele Teilnehmer und zwar an Standpunkten, die theils in der Nähe von Göttingen sind, theils sich in entferntere Theile Europas zerstreuen. Es wurde dabei die Einrichtung getroffen, daß alle Beobachter an vorher festgesetzten Tagen die Angaben ihrer Apparate in genau gleichen Momenten von 5 zu 5 Minuten aufzeichneten. Natürlich mußte durch eine solche Beobachtungsreihe das Verhalten der Störungen, welchen die magnetische Kraft der Erde ausgesetzt ist, bis in seine kleinsten Einzelheiten erkannt werden, und sie hat zu der Ueberzeugung geführt, daß die Ursachen dieser Störungen vorzugsweise in den Polargegenden zu suchen sind.

Die bisher gesammelten Beobachtungen über die Aeußerungen des Erdmagnetismus haben das Material geliefert, welches zusammengebracht werden mußte, bevor man eine Erklärung dieser merkwürdigen Eigenschaft versuchen konnte. Unter der Erklärung hat man aber nicht etwa die Beantwortung der Frage zu verstehen, warum die Erde Magnetismus besitzt, sondern nur die Angabe des Zusammenhanges zwischen den einfachsten Aeußerungen der magnetischen Kraft, welche wir an irgend einem Magnet wahrnehmen können und den verwickelten, welche der Erdkörper uns zeigt. Offenbar wird diese Erklärung um so befriedigender ausfallen, je einfacher die Erscheinung, von der sie ausgeht, und je verwickelter diejenige ist, zu der sie gelangt.

Um sich von der Größe der Schwierigkeiten, welche dabei zu überwinden sind, eine Vorstellung zu machen, wird es genügen, auf der Karte von Erman, welche die Linien gleicher Deklinationen auf der Erde darstellt, diejenige zu verfolgen, welche durch die Dertter auf der Erde geht, an denen die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Südnordlinie zusammenfällt. Diese Linie kommt vom Nordpolareise, geht durch das weiße Meer, Rußland, das kaspische Meer, zieht sich dann um Vorderindien herum, schneidet Hinterindien, läuft bis zur nordsisibirischen Küste, kehrt dann zwischen Kamtschatka und Japan hindurch nach Hinterindien zurück, durchschneidet das indische Meer und Australien und verschwindet im südlichen Polareise; aber sie tritt in dem amerikanischen Meere wieder aus dem Eise hervor und führt durch Brasilien, das Antillenmeer, die vereinigten Staaten von Nordamerika, die Hudsonsabay in das Polareis zurück. Es läßt sich kaum ein Zug von größerer Unregelmäßigkeit denken, und nun soll die Erklärung diese auffallende Unregelmäßigkeit als eine nothwendige Folge der Eigenthümlichkeiten darstellen, welche die magnetische Kraft in ihrem einfachsten Auftreten charakterisiren; sie soll auch die Züge der Inklinationenlinien und der Intensitätslinien folgern und von den Veränderungen Rechenschaft geben, welche alle diese Linien im Laufe der Zeit erfahren.

Die Wissenschaft des Erdmagnetismus hat sich lange Zeit hauptsächlich mit der Vervollständigung der Beobachtungen beschäftigtigen müssen und bevor man zu einer vollständigen Kenntniß

der magnetischen Kraft an jedem zugänglichen Punkte der Erde gelangen konnte, mußte sogar ein neues Verfahren erfunden werden, wodurch eine sichere Vergleichung der magnetischen Intensitäten möglich wurde. Wenn man früher die Intensitäten an verschiedenen Orten aus der Schwingungsdauer einer und derselben Magnetnadel bestimmte, so war das Resultat deshalb fehlerhaft, weil in den Zwischenzeiten der Magnetismus der Nadel selbst sich veränderte. Die neue Methode, deren Erfinder Poissons ist, und deren Ausführung wir Gauß verdanken, setzt uns in den Stand, die Intensität des Erdmagnetismus von dem Magnetismus der angewendeten Nadel zu trennen.

Die wagerecht aufgehängte Magnetnadel zeigt nämlich eine Drehungskraft, deren Größe durch Beobachtung der Schwingungszeit gemessen werden kann. Diese Drehungskraft wird aber in demselben Verhältnisse größer oder kleiner, in welchem die eigene magnetische Kraft der Nadel oder die magnetische Kraft der Erde größer oder kleiner wird.

Was man also durch die Beobachtung der Schwingungszeit erhält, ist das Produkt beider Kräfte. Kann man nun außerdem das Verhältniß beider Kräfte berechnen, so macht ihre Trennung keine Schwierigkeit. Dieses Verhältniß wird durch die neue Methode gefunden. Man wendet nämlich eine zweite Magnetnadel an, deren Drehungskraft durch Beobachtung bestimmt wird und zwar erstens ihre Drehungskraft unter dem Einflusse des Erdmagnetismus und zweitens diejenige, welche die ihr gegenübergestellte erste Nadel erzeugt. Die erste Beobachtung liefert das Produkt aus den magnetischen Kräften der Erde und der zweiten Magnetnadel und die zweite Beobachtung giebt das Produkt aus den magnetischen Kräften beider Nadeln und das Verhältniß dieser beiden Produkte stimmt mit dem Verhältnisse zwischen den magnetischen Kräften der Erde und der ersten Nadel überein, welches nothwendig war, um beide Kräfte einzeln kennen zu lernen.

Nachdem nun die Möglichkeit nachgewiesen ist, durch Versuche zur vollständigen Kenntniß des Erdmagnetismus zu gelangen, kann man zu einem Versuche übergehn, den Magnetismus der Erde zu erklären, wenn man sich zuvor eine deutliche Vor-



stellung verschafft hat von der Art, wie jede magnetische Kraft sich in ihrem einfachsten Auftreten zeigt.

Das nichtmagnetische Eisen wird von einer Magnetenadel angezogen, während das Nordende einer Magnetenadel von dem Nordende einer andern abgestoßen und nur von dem Südenende dieser andern Nadel angezogen wird. Zerbricht man eine Magnetenadel in mehrere Theile, so zeigt jeder Theil dieselben Eigenschaften wie die ganze Nadel, woraus man schließen darf, daß die magnetische Kraft nicht etwa in den beiden Enden einer Magnetenadel, sondern in jedem Theile derselben ihren Sitz hat.

Wenn eine Stahlnadel durch Berührung mit einem Magnet, oder durch Bestreichen mit seinen Polen in eine Magnetenadel sich verwandelt, so geht daraus hervor, daß der Akt des Magnetisirens eine Veränderung in ihren Theilchen bewirkt. Das Gewicht der Stahlnadel ist nach der Magnetisirung dasselbe geblieben; daher stellt man sich die in den Theilchen vorgegangene Veränderung als eine Trennung zweier in jedem Theilchen in gleicher Quantität enthaltenen Stoffe vor, welche vor der Magnetisirung vereinigt waren, und wovon der eine Nordpolarität, der andere Südpolarität äußert. Nach dieser Vorstellung sind magnetische Körper solche, in welchen durch Berührung mit einem Magnet oder durch seine Nähe eine Trennung der beiden Stoffe hervorgebracht werden kann. In einigen Körpern ist diese Trennung bleibend, wie im gehärteten Stahl, in andern ist sie gleich nach der Magnetisirung verschwunden, wie in dem ganz weichen Eisen.

Diese Vorstellung von der magnetischen Kraft vereinigt also die beiden Erfahrungen, daß jeder kleinste Theil einer Magnetenadel die beiden Polaritäten besitzt und daß diese Polaritäten in jedem magnetischen Körper hervorgerufen werden können. Zwar läßt sich nicht entscheiden, ob sie physisch richtig ist, aber es ist kein Grund vorhanden, sie zu verlassen, da ihre Verfolgung bis zu irgend einer Aeußerung des Magnetismus noch zu keinem Widerspruche mit den Beobachtungen geführt hat; man kann sie also, wie jede andere den Erfahrungen entsprechende Vorstellung, als ein Mittel betrachten, durch welches der Uebergang von der einfachsten Erscheinung der magnetischen Kraft zu den zusammengesetzteren erleichtert wird. Ein solcher Uebergang wird aber erst

dann möglich, wenn man das Gesetz kennt, nach welchem die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung sich mit der Entfernung ändert. Es liegt nun hier dasselbe Gesetz zum Grunde, welches Newton von der Anziehung der Weltkörper nachgewiesen hat, und zwar ist es nicht etwa bloß nach dieser Analogie vorausgesetzt worden, sondern Coulomb, Hansteen und Gauss haben durch geeignete Versuche bewiesen, daß die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält.

Nachdem nun deutlich geworden ist, wie die beiden magnetischen Kräfte wirken, kann darauf die Untersuchung gegründet werden über die Stärke und Richtung der Polarität, welche ein magnetischer Körper an beliebigen Punkten des ihn umgebenden Raumes hervorruft. Wenn man durch den Mittelpunkt eines beliebigen magnetischen Theilchens senkrecht gegen seine magnetische Axe eine Ebene legt, so äußert sich auf der einen Seite dieser Ebene Nordpolarität, auf der andern Südpolarität. Es steht nämlich allen Punkten auf der einen Seite der Nordpol des Theilchens näher als sein Südpol, so daß, nachdem die schwächere Südpolarität einen ihr gleichen Theil der Nordpolarität ausgeglichen hat, noch ein Theil der Nordpolarität übrig bleibt, und da es sich auf der andern Seite entgegengesetzt verhält, so muß hier die Südpolarität vorherrschen. Die Richtung der in Beziehung auf einen Punkt des Raumes vorherrschenden Polarität ist dabei nothwendig die vom Punkte auf das magnetische Theilchen zugehende, ihre Stärke aber verändert sich mit der Entfernung des Punktes vom magnetischen Theilchen und von der auf seiner magnetischen Axe senkrechten Ebene und zwar wird diese Stärke bei gegebener Entfernung des Punktes vom magnetischen Theilchen am größten sein, wenn der Punkt in der Richtung seiner magnetischen Axe liegt. Da alle Theilchen eines magnetischen Körpers auf ähnliche Art wirken, so kann die Wirkung des ganzen Körpers auf einen Punkt im Raume nur durch Addition der Wirkungen aller seiner Theilchen erhalten werden, die aber nur dann möglich ist, wenn man die Stärke der Magnetisirung eines jeden Theilchens und die Figur des Körpers kennt.

Die Figur kann man durch Abmessungen des Körpers kennen lernen, aber die Stärke der Magnetisirung seiner Theilchen ver-

räth sich nirgend unmittelbar. Man kann den freien Magnetismus eines magnetischen Stahlstabes, dessen Länge und Durchschnittsfigur gegeben sind, leicht berechnen, wenn man die Magnetisirung seiner Theilchen als gleich voraussetzt, oder wenn man von andern einfachen Annahmen darüber ausgeht. Aus jeder solchen Annahme wird sich ein regelmäßiges Anwachsen der Stärke des freien Magnetismus nach den beiden Enden des Stabes ergeben; in der Wirklichkeit werden sich aber stets Unregelmäßigkeiten zeigen, welche sich nur aus einer Ungleichheit der Magnetisirung des Innern erklären lassen und so weit gehen können, daß an längeren Stäben mehrere Abwechslungen der beiden Polaritäten bisweilen zu bemerken sind. Hieraus wird deutlich, wie wenig die Figur eines Körpers allein zur Bestimmung seines freien Magnetismus hinreicht.

Die Erscheinungen, welche unsere Erde als magnetischer Körper darbietet, z. B. der unregelmäßige Zug der Linien, wodurch man die Richtung und Stärke des freien Magnetismus der Erde darstellen kann, zeigen deutlich, daß die Vertheilung des Magnetismus in ihrem Innern keinem einfachen Gesetze folgt. Die bekannte Beschaffenheit der Erdoberfläche läßt ein solches Gesetz auch nicht erwarten, denn es wechseln Gebirgsarten, welche magnetisch sind, mit solchen ab, welche keinen Magnetismus zeigen; außerdem beweisen die langsameren und schnelleren Aenderungen, welche wir an dem freien Magnetismus der Erde bemerken, daß die magnetische Beschaffenheit der Erde sich beständig ändert. Es ist aber nicht denkbar, daß wir jemals dasjenige kennen lernen werden, was nothwendig ist, um geradezu durch Rechnung zu der Kenntniß des freien Magnetismus, wie er sich an jedem Punkte der Erdoberfläche zeigen muß, zu gelangen; man hat also durch die Theorie diejenigen Folgerungen von den beobachteten Erscheinungen auf ihre Ursache nachzuweisen, welche durch das Gesetz der Wirkung der magnetischen Kraft allein gerechtfertigt werden und daher für jede beliebige Vertheilung des Magnetismus in der Erde gleich wahr sind.

Eine ähnliche Aufgabe hat die Theorie immer dann aufzulösen, wenn sie die Verbindung zwischen beobachteten Natur-Erscheinungen und ihren Ursachen aufsucht; aber die Aufgabe tritt erst dann in ihrer wahren Gestalt hervor, wenn die Beob-

achtungen von einer Naturerscheinung so viel verrathen haben, daß es zur Hinweisung auf ihre Ursache ausreicht. Ist man noch nicht dahin gelangt, so hat man keine Aufgabe zu lösen, sondern mit einem Räthsel zu thun, das durch eine einfache Annahme errathen wird, welche verschiedene der beobachteten Momente in einem Zusammenhange erscheinen läßt.

Die Auffuchung einer solchen Annahme, wenn diese auch keiner Erklärung gleichkommt, ist doch nicht ohne Nutzen, wenn sie gelingt; denn die gefundene Annahme kann die Beobachtungen selbst vertreten, indem sie das in seinen kürzesten Ausdruck zusammenfaßt, was die Beobachtungen von der Erscheinung gelehrt haben.

Um ein instruktives Beispiel von einem Fortschreiten in dieser Art zu erhalten, darf man sich nur die Hauptmomente der Entwicklung unserer Kenntniß vom Weltgebäude vergegenwärtigen. Copernikus fand eine einfache Annahme, wodurch in die verwirrten Erscheinungen der Planetenbewegung ein Zusammenhang gebracht werden konnte, nämlich die Unbeweglichkeit der Sonne, um welche die Planeten excentrische Kreisbahnen beschreiben. Kepler erkannte, daß die Beobachtungen zu seiner Zeit schon hinreichten zu zeigen, daß die Bewegungen der Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen und zwar nach demselben Gesetze für alle vor sich gehen, und vertrat durch seine Gesetze die Beobachtungen selbst. Newton endlich gelangte zur Erklärung des Weltsystems, denn er fand die Kraft, welche den Erscheinungen entsprach, da er aus ihrer Wirkung die keplerschen Gesetze folgern konnte.

Die Versuche, von dem magnetischen Zustande der Erde Rechenhaft zu geben, sind zwar in ähnlicher Art, aber nicht mit gleichem Erfolge fortgeschritten. Euler und Tobias Mayer glaubten die an verschiedenen Punkten der Erde beobachteten Richtungen der magnetischen Kraft als Wirkungen eines in der Erde befindlichen Magneten darstellen zu können. Allein sicher hätten sie eine solche Annahme als ungenügend verworfen, wenn zu ihrer Zeit schon die verwickelten Züge der magnetischen Linien so bekannt gewesen wären, wie sie oben an einem Beispiele erläutert worden sind und ihr Erfolg blieb also weit hinter dem Erfolge zurück, den die Annahme des Copernikus in Betreff

der Planetenbewegung leistete. Als später *Hansen* mit großem Fleiße die bekannt gewordenen Beobachtungen gesammelt und dadurch das Hervortreten der magnetischen Kraft auf der Erde vollständiger kennen gelernt hatte, vertauschte er die unzulänglich gewordene frühere Annahme mit der Annahme zweier in der Erde befindlichen Magneten.

Nun läßt sich allerdings die relative Stärke und Lage zweier Magneten in der Erde so wählen, daß man den Beobachtungen dadurch besser als durch die Annahme eines Magneten genügen kann, aber der Erfolg dieser neuen Annahme blieb weit hinter demjenigen zurück, den *Kepler* durch die Verbesserung der *Copernikanischen* Annahme erreicht hatte; es wurde dadurch kein einfacher Ausdruck gewonnen, welcher in gedrängtester Form hätte angeben können, was die Erklärung zu leisten habe. *Gauß* endlich hat sich auf den Standpunkt gestellt, von welchem aus *Newton* das *Weltssystem* erklärte; er verläßt alle Annahmen und verfolgt nur die unzweideutigen Bedingungen, welchen das Hervortreten der magnetischen Kraft an der Oberfläche der Erde durch ihr Gesetz selbst unterworfen ist. Es wird hierbei nur das bekannte Gesetz über die Wirkung der magnetischen Kraft vorausgesetzt, nämlich, daß die gleichnamigen magnetischen Stoffe sich abstoßen und die ungleichnamigen sich anziehen und daß die Stärke dieser Anziehung oder Abstoßung sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält; über die Vertheilung der magnetischen Theilchen in der Erde wird nichts als bekannt angenommen und wenn man nun allgemeine Eigenschaften der Wirkung eines magnetischen Körpers, so wie sie sich an seiner Oberfläche zeigt, aufzufinden vermag, so kann durch Vergleichung mit den an der Oberfläche der Erde gemachten Beobachtungen dasjenige erkannt werden, wodurch sich die Erde in magnetischer Beziehung von jedem andern magnetischen Körper unterscheidet. Dieser Uebergang vom Allgemeinen zum Speciellen ist die Erklärung des Magnetismus der Erde.

Da die anziehende und abstoßende Wirkung der magnetischen Kraft und die Wirkung der allgemeinen Anziehung sich auf gleiche Art verhalten, so bringen beide nur dadurch verschiedenartige Erscheinungen hervor, daß jedes magnetische Theilchen auf jeden der beiden magnetischen Stoffe zugleich Abstoßung und Anziehung,

die allgemeine Anziehung der Materie aber nur letztere äußert. Die Uebereinstimmung des Gesetzes beider Kräfte hat zur Folge, daß zwischen den Momenten, welche die Untersuchung der Wirkungen der allgemeinen Anziehung an der Oberfläche der Erde darbietet und welche Laplace in seiner Mechanik des Himmels verfolgt hat und denjenigen, welche bei der Untersuchung des Erdmagnetismus hervortreten, eine durchgehende Analogie stattfindet.

Von diesen Momenten sind besonders zwei hier hervorzuheben. Alle Theile eines Körpers, die nach dem angeführten Gesetze wirken, bringen an jedem gegebenen Punkte eine Gesamtwirkung hervor, eine Kraft, durch deren Kenntniß die Wirkung des ganzen Körpers bekannt wird.

Laplace hat nicht die Stärke und Richtung dieser Kraft, sondern eine andere Größe zum Gegenstande der Untersuchung gemacht, welche für jeden Punkt einen bestimmten Werth und die Eigenschaft hat, Stärke und Richtung der Kraft des Körpers und damit auch die Kraft, welche er nach jeder beliebigen Richtung äußert, so zu enthalten, daß sie leicht daraus abgeleitet werden können. Diese Größe ist die Summe der Kräfte aller Theilchen des Körpers, jede dividirt durch die Entfernung des Theilchens von dem Punkte, an welchem man die Kraft selbst kennen lernen will.

Die Veränderung, welche ihr Werth erleidet, wenn der Punkt, auf welchen sie sich bezieht, sehr wenig verrückt wird, giebt den Theil der ganzen Kraft zu erkennen, welcher sich in der Richtung der Verrückung äußert. Gauß hat diese Größe das Potential genannt; sie ist das erste der anzuführenden Momente.

Das zweite dieser Momente betrifft die Form, welche Laplace dem Ausdruck des Potentials gegeben hat. Da der Werth, welchen das Potential für einen bestimmten Punkt annimmt, sich mit dem Orte dieses Punktes ändert, so muß der Ausdruck des Potentials diejenigen Größen enthalten, durch welche die Lage des Punktes bestimmt wird. Giebt man die Lage des Punktes durch seine Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und durch die Richtung dieser Linie, also durch die geographische Länge und Breite an, so muß der Ausdruck des Potentials diese drei Größen enthalten und der jedem Punkte zugehörige Werth

des Potentials muß aus diesem Ausdrucke sich ergeben, wenn man die drei Zahlenwerthe einsetzt, welche die Lage des Punktes bestimmen.

Man kann nun den Ausdruck des Potentials, wie Laplace gezeigt hat, als eine Summe von Theilen darstellen, wovon jeder folgende so bedeutend kleiner wird als der vorhergehende, daß einige der ersten Theile den Werth des Potentials schon annähert richtig angeben und diese Näherung kann weiter getrieben werden, sobald man zu den schon angewandten Theilen einen neuen hinzufügt. Diese Eigenschaft des Potentials gilt für alle Punkte auf der Erdoberfläche und außerhalb derselben und die fortschreitende Verkleinerung der Theile des Potentials wird um so stärker, je größer die Entfernung des Punktes vom Mittelpunkte der Erde ist. Die Eigenschaft, welche der Ausdruck des Potentials besitzt, ist eine allgemeine, denn sie findet immer statt und ist unabhängig von der Vertheilung der Kräfte im Innern des Körpers. Man weiß also, ohne über die Vertheilung der magnetischen Kraft in der Erde eine Voraussetzung zu machen, daß ihr magnetisches Potential für jeden Punkt der Erdoberfläche einen von seiner geographischen Länge und Breite abhängigen Ausdruck hat, welcher aus einer Reihe immer kleiner werdenden Theile besteht und durch diese wichtige Eigenschaft ist Gauß zur Erklärung des Erdmagnetismus gelangt.

Von dem ersten jener Theile des magnetischen Potentials läßt sich allgemein zeigen, daß er die Summe dreier Größen ist, deren jede aus zwei Factoren besteht, wovon der eine nur von der geographischen Länge und Breite abhängt, also als bekannt angesehen werden kann, während der andere unbekannt ist, weil er von der Vertheilung des Magnetismus in der Erde abhängt und diese Vertheilung unbekannt bleibt. Es enthält also der erste Theil des Ausdrucks, welchen man für das magnetische Potential gefunden hat, drei unbekannte Größen und von jedem folgenden Theile läßt sich zeigen, daß er der unbekanntesten Größen zwei mehr enthält, als der vorhergehende. Diese unbekanntesten Größen kann man durch die allgemeine Theorie nicht bestimmen, weil ihre Werthe ebensowohl von der Figur jedes magnetischen Körpers, als von der Vertheilung des Magnetismus in demselben

abhängig sind; wohl aber lassen sie sich aus Beobachtungen ableiten, wenn diese geeignet sind, den magnetischen Zustand eines Körpers zu verrathen.

Für die Erde muß man die an ihrer Oberfläche gemachten Beobachtungen der magnetischen Deklination, Inklination und Intensität benutzen. Jeder an einem Punkte der Erde von bekannter geographischer Länge und Breite beobachtete Werth einer dieser Größen führt auf eine Gleichung, wenn man ihn dem aus dem Ausdrücke des Potentials berechneten Werthe gleichsetzt und diese Gleichung kann zur Bestimmung der unbekanntenen Größen des Potentials beitragen. Da solche Beobachtungen, entweder aller drei Größen, die zur vollständigen Bestimmung der magnetischen Kraft an einem Orte der Erde nothwendig sind, oder zweier oder nur einer derselben, an beliebig vielen Orten gemacht werden können, so läßt sich auch immer eine größere Zahl von Gleichungen aufstellen, als zur Bestimmung der unbekanntenen Größen nöthig sind, welche in jeder beliebigen Anzahl von Gliedern jener Reihe vorkommen, die den Ausdruck des magnetischen Potentials bildet.

Auch ist es nicht nothwendig, die magnetische Deklination, Inklination und Intensität selbst zu benutzen, man kann jede Verbindung derselben zum Gegenstande der Vergleichung machen, und sie verdient sogar einen Vorzug, wenn entweder ihre Beobachtung, oder ihre Ableitung aus dem Ausdrücke des Potentials einfacher ist. So hat Gauß gefunden, daß die Intensität der in horizontaler Richtung wirkenden Kraft vortheilhafter verglichen wird, als die der ganzen Kraft.

Ob eine kleinere oder größere Anzahl der sich verkleinernden Theile des Potentials bekannt werden muß, damit sein Ausdruck eine hinreichende Annäherung gewähre, hängt von der Schnelligkeit ihrer Verkleinerung ab, welche erst der Erfolg lehren kann, da sie nur durch die unbekanntene Art der Vertheilung des Magnetismus in der Erde bestimmt wird. Ob aber eine willkürlich angenommene Zahl dieser Theile genügt, kann daraus erkannt werden, daß man, sobald die darin enthaltenen unbekanntenen Größen durch Beobachtungen bestimmt sind, untersucht, ob der dadurch erhaltene Ausdruck des Potentials allen vorhandenen Beobachtungen hinreichend nahe entspricht. Je nachdem nun



durch den erhaltenen Ausdruck den Beobachtungen genügend entsprechen wird oder nicht, kann auf eine kleinere oder größere Anzahl von Theilen des Potentials ein neuer Versuch gegründet werden. So kann man offenbar den einfachsten, d. h. die kleinste Zahl von Theilen enthaltenden Ausdruck des Potentials finden, welcher das, was vom Magnetismus der Erde beobachtet worden ist, noch hinreichend nahe darzustellen vermag.

Gauß hat schon durch die vier ersten Theile des Ausdrucks, welche zusammen 24 unbekannte Größen enthalten, eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen den daraus berechneten und den aus den Beobachtungen allein abgeleiteten, durch ihre Unregelmäßigkeit auffallenden, magnetischen Linien der Erde erhalten. Zwei Karten von Erman, welche die Züge der Declinationslinien nach der gaußischen Theorie und nach den Beobachtungen darstellen, gewähren hierüber einen interessanten Ueberblick.

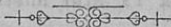
Die Uebereinstimmung zwischen einer Theorie und den Beobachtungen ist im Allgemeinen nur dann hinreichend, wenn sich nicht größere Unterschiede zeigen, als diejenigen, welche aus der Unvollkommenheit der Beobachtungen hervorgehen müssen; sie hört aber auf hinreichend zu sein, sobald die Beobachtungen genauer werden. Da man nun von den magnetischen Beobachtungen an vielen Punkten der Erde, welche der gaußischen Theorie zum Grunde gelegt wurden, voraussetzen muß, daß sie noch nicht den höchsten, erreichbaren Grad von Genauigkeit besitzen, \*) so kann diese Theorie auch nur mit einer für jetzt hinreichenden Annäherung den Beobachtungen entsprechen, und die Unterschiede, auf welche sie führt, können noch nicht alle innerhalb der Grenzen der eigentlichen Beobachtungsfehler liegen. Gauß selbst betrachtet den speciellen Theil seiner Theorie, d. h. die 24 Zahlenwerthe der unbekanntenen Größen, welche in den vier ersten Gliedern des magnetischen Potentials enthalten sind, als einen ersten Versuch dieser Art und hält es für wahrscheinlich, daß noch der fünfte Theil und mit ihm 11 neue unbekanntene Größen zugezogen

\*) Ein bedeutender Theil der Beobachtungen hat nur auf einem Schiffe gemacht werden können, dessen Schwankungen und anziehende Eisenmassen einen nachtheiligen Einfluß auf die Genauigkeit der Resultate ausüben mußten.

werden müssen. Die Vergleichung der Beobachtungen mit seiner speciellen Theorie erstreckt sich über 103 unmittelbare Beobachtungen der Declination, 102 der Inklination und 95 der Intensität, welche zum Theil in den entferntesten Gegenden der Erde gemacht sind, und liefert den Beweis, daß diese Theorie den magnetischen Erscheinungen auf der Erde nicht nur im Ganzen genügt, sondern wenig zu wünschen übrig läßt.

Eine Theorie, deren unbekannte Größen aus Beobachtungen des magnetischen Zustandes der Erde zu einer bestimmten Zeit berechnet worden sind, kann diesen magnetischen Zustand auch nur für diese Zeit allein darstellen; soll sie aber auch von den Veränderungen dieses Zustandes Rechenschaft geben, so müssen ihre unbekannteten Größen nicht beständige, sondern veränderliche sein, oder man muß ihren Werthen für eine bestimmte Zeit noch Glieder hinzusetzen, deren Zahlenwerthe von der Zeit abhängen.

Der eine Theil dieser Zusätze, welcher die durch Jahrhunderte in demselben Sinne fortschreitende und deshalb sehr anwachsende Veränderung erklären soll, ist noch in völliges Dunkel gehüllt. Ein anderer Theil der Zusätze, welcher die täglichen Aenderungen ausdrücken soll, die einen Einfluß der Jahreszeiten erkennen lassen, wird wahrscheinlich früher gefunden werden, als der vorige, denn seine nicht verkennbare Periode deutet auf seine Ursache, die Sonne, hin, wiewohl dadurch noch keine unmittelbare und magnetische Einwirkung derselben erwiesen ist. Auch darf man wegen der Kürze dieser Periode hoffen, daß man bald eine hinreichende Kenntniß von der Erscheinung selbst erlangen werde. Ein dritter Theil der Zusätze hat die beobachteten, mehr oder weniger plötzlichen Störungen in der Richtung und Stärke der magnetischen Kraft zu erklären. Daß man aber dahin gelangen sollte, ihr Eintreten irgendwie voraus bestimmen zu können, läßt sich eben so wenig erwarten, als ein ähnlicher Erfolg in Beziehung auf Gewitter und Stürme.\*)



\*) Arago hat die interessante Bemerkung gemacht, daß ein am Abend sichtbar werdendes Nordlicht schon am Tage durch bemerkbare magnetische Störungen geahnet werden kann.