

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Encyklopaedie der Naturwissenschaften**

Elektricität und Magnetismus

**Winkelman, Adolph August**

**Breslau, 1895**

Erdmagnetismus

die Nadel die stärkste ablenkende Kraft ausübt. Dieser Punkt ist näherungsweise der eine Pol; der andere Pol muss streng genommen in den Drehpunkt fallen, so dass man, da man dies von vornherein nur roh erzielen kann, den Versuch mit der nun bekannten Pollage wiederholen muss, um einen genaueren Werth derselben zu finden<sup>1)</sup>. F. AUERBACH.

## Erdmagnetismus.

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

Die Lehre vom Erdmagnetismus nimmt eine Mittelstellung zwischen der Physik und der Meteorologie ein; da sie aber in letzterer nicht behandelt zu werden pflegt, ist es nothwendig, hier das Wichtigste darüber in Kürze zusammenzustellen<sup>2)</sup>.

### Oertliche Vertheilung.

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

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

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

Verbindet man alle Punkte, für welche eine jener Grössen den gleichen Werth hat, so erhält man Curvensysteme, welche man isomagnetische Linien nennt. Das Bild, welches sie von der dargestellten Grösse liefern, wird noch inhaltreicher, wenn man aus den unendlich vielen möglichen Curven (entsprechend allen möglichen Werthen jener Grösse) solche auswählt, dass für je zwei benachbarte die Differenz des Werthes die gleiche ist; die »Dichte« der Linien, d. h. ihre gegenseitige Nähe, giebt alsdann einen Maasstab für die Schnelligkeit der Werthänderung. Man sieht, dass diese Linien den Niveaulinien, Isobaren u. s. w. verwandt sind. Im Gebiete des Erdmagnetismus kann man nun solcher Curven eine ganze Anzahl unterscheiden, die wichtigsten sind die folgenden:

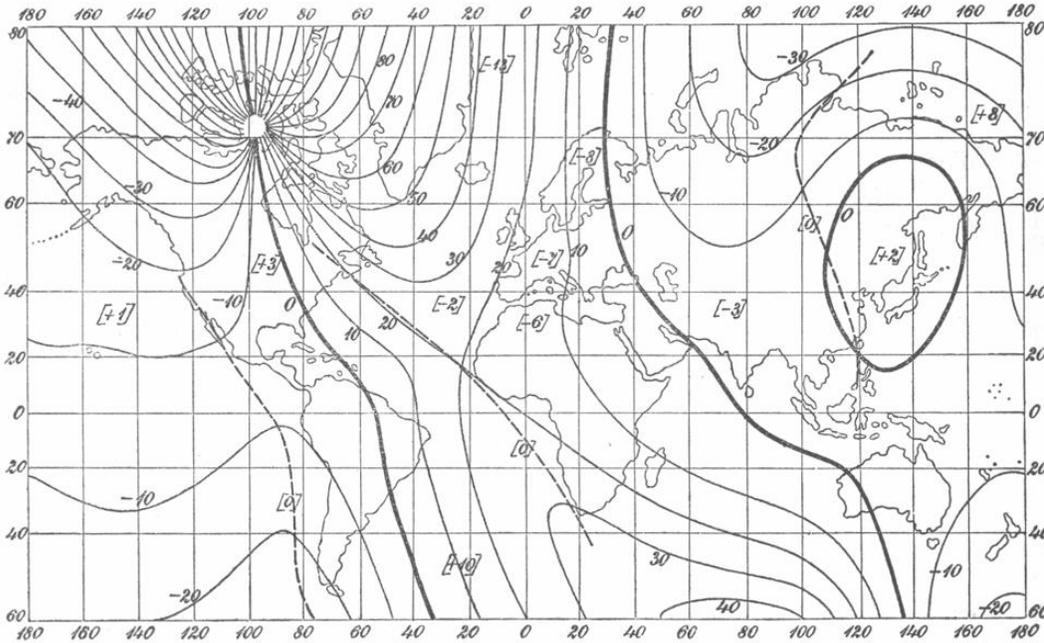
- 1) Isogonen, d. h. Linien gleicher Deklination.
- 2) Isoklinen, d. h. Linien gleicher Inklination.
- 3) Isodynamen, d. h. Linien gleicher Gesamt-Intensität des Erdmagnetismus.
- 4) Horizontal-Isodynamen, d. h. Linien gleicher Horizontalcomponente der Intensität.
- 5) Vertikal-Isodynamen, mit entsprechender Bedeutung.
- 6) Magnetische Gleichgewichtslinien oder Niveaulinien, d. h. Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials (s. w. u.).
- 7) Magnetische Kraftlinien oder Meridiancurven, d. h. Linien, welche man erhält, wenn man von Punkt zu Punkt in der der Krafrichtung entsprechenden Richtung fortgeht.
- 8) Isanomalien, d. h. Linien, in welchen die Abweichung des wahren Werthes einer der obigen Grössen von dem aus irgend einer Annahme abgeleiteten Werthe die gleiche Grösse besitzt.

Den Curvensystemen der bezeichneten Art kommt, da die durch sie dargestellten Grössen sich auch mit der Zeit ändern, eine Bedeutung nur für eine bestimmte Epoche bei. Diese muss daher stets angegeben werden, und es dürfen überdies die Systeme nur unter Zugrundelegung solcher Messungen entworfen werden, welche dieser Epoche angehören oder ihr sehr naheliegen, ältere Beobachtungen aber nur unter Reduction auf diese Epoche und, da diese Reduction noch ziemlich unsicher ist, überhaupt nur aushilfsweise und mit Vorsicht hinzugezogen werden. Daher kommt es, dass das zur Aufstellung derartiger Karten erforderliche Material viele Lücken aufweist und zahlreiche Curvenstrecken mehr oder weniger hypothetisch ergänzt werden müssen, besonders in weniger bekannten Gegenden, namentlich in der Nähe der Pole, was um so bedauerlicher ist, als gerade hier naturgemäss die wichtigsten Theile des Gesamtbildes liegen.

Immerhin ist gerade in den letzten dreissig Jahren ausserordentlich viel zur Ausfüllung der Lücken und zur exakteren Gestaltung der übrigen Gebiete geschehen, und zwar ganz besonders: 1) durch magnetische Landesaufnahmen, namentlich in den beiden durch ihre kolossale Ausdehnung wichtigen Reichen: Russland und Vereinigte Staaten von Nord-Amerika, 2) durch die beiden wissenschaftlichen Seereisen, welche unter den Namen der »Challenger«- und der »Gazellen«-Expedition bekannt sind, 3) durch eine internationale magnetische Expedition in die hohen Breiten, 1882—83, bei welcher jede beteiligte Nation eine besondere Beobachtungsstation übernahm und dort während eines Jahres Messungen ausführte. Auf Grund dieser und anderer Beobachtungen sind die in der Neuausgabe des BERGHAUS'schen physikalischen Atlas veröffentlichten Karten von NEUMAYER construirt worden. Ihre Epoche, d. h. der Zeitpunkt,

für den sie exakt gültig sind, ist der Anfang des Jahres 1885; den hier beigegebenen kleinen Kärtchen liegen sie vorzugsweise zu Grunde<sup>1)</sup>.

**Deklination, Isogonen.** Die Deklination ist der Winkel zwischen dem magnetischen und dem geographischen Meridian; sie wird nach Uebereinkunft positiv gerechnet, wenn sie westlich, negativ, wenn sie östlich ist. Sie nimmt auf der Erdoberfläche alle Werthe von  $0^\circ$  bis  $+180^\circ$  und von  $0^\circ - 180^\circ$  an, hält sich jedoch in den meisten Gebieten zwischen weit engeren Grenzen, etwa zwischen  $-20^\circ$  und  $+30^\circ$  und steigt nur in den höheren Breiten und im nördlichen atlantischen Ocean darüber hinaus. In Europa hält sie sich sogar zwischen  $-3^\circ$  und  $+22^\circ$  und speciell in Deutschland zwischen  $+6^\circ$  und  $+15^\circ$ . In Fig. 145 und 146 sind die Isogonen von 10 zu  $10^\circ$  (in einigen polar gelegenen Gebieten in grösseren Zwischenräumen) unter Beifügung des Werthes



(P. 145.)

von  $\delta$  dargestellt, und zwar in Fig. 145 in MERCATOR'S Projection für das Gebiet zwischen  $80^\circ$  nördlicher und  $60^\circ$  südlicher Breite, in Fig. 146 in Polarprojection für die Polargebiete<sup>2)</sup>.

Wie man sieht, treffen alle Isogonen in 4 Punkten zusammen, von denen 2 auf der nördlichen, 2 auf der südlichen Halbkugel liegen, und von jedem dieser Punktepaare ist der eine Punkt ein Erdpol, der andere ein von ihm nicht allzu weit entfernter Punkt, der im engeren Sinne als Deklinationspol bezeichnet werden kann, aber, wie sich bald zeigen wird, schlechthin magnetischer Pol

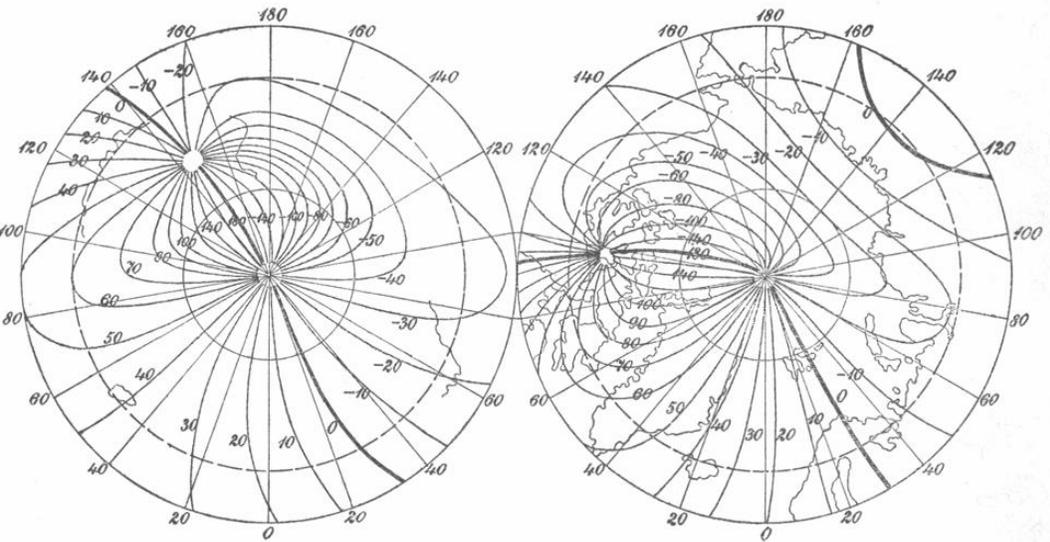
<sup>1)</sup> Das Zahlen- und Kartenmaterial, betr. die erdmagnetischen Elemente, ist ein so ungeheures, dass sich selbst eine ausgewählte Literatur-Angabe verbietet. Die meisten Veröffentlichungen finden sich in den Berichten der Central-Institute der einzelnen Staaten. Der historischen Bedeutung halber sei aber hier auf das Werk von GAUSS und WEBER: Resultate aus den Beob. d. magnet. Vereins, Gött. 1837—43, hingewiesen.

<sup>2)</sup> Die Isogonen sind die ausgezogenen Linien, von den gestrichelten (ebenso wie von den eingeklammerten Zahlen) wird später die Rede sein.

genannt werden darf. Dass in diesen 4 Punkten alle Isogonen zusammentreffen müssen, ist nach der Definition der letzteren leicht einzusehen. Es werden das nämlich diejenigen Punkte sein, in welchen der Werth der Deklination ein unbestimmter wird; nun ist die Deklination der Winkel zwischen zwei Richtungen, sie wird also unbestimmt, wenn irgend eine dieser beiden Richtungen unbestimmt wird; der geographische Meridian wird in den beiden Erdpolen unbestimmt, der magnetische da, wo die Horizontalcomponente  $H$  des Erdmagnetismus Null wird. Es folgt hieraus zugleich, dass die beiden nicht in die Erdpole fallenden Schnittpunkte der Isogonen Punkte sind, in denen  $H=0$  ist. Ihre Lage ist nach den genauesten Bestimmungen die folgende:

Magnetischer Nordpol:  $70^{\circ} 30'$  nördl. Br.,  $97^{\circ} 40'$  westl. L.

„ Südpol:  $73^{\circ} 39'$  südl. Br.,  $146^{\circ} 15'$  östl. L.



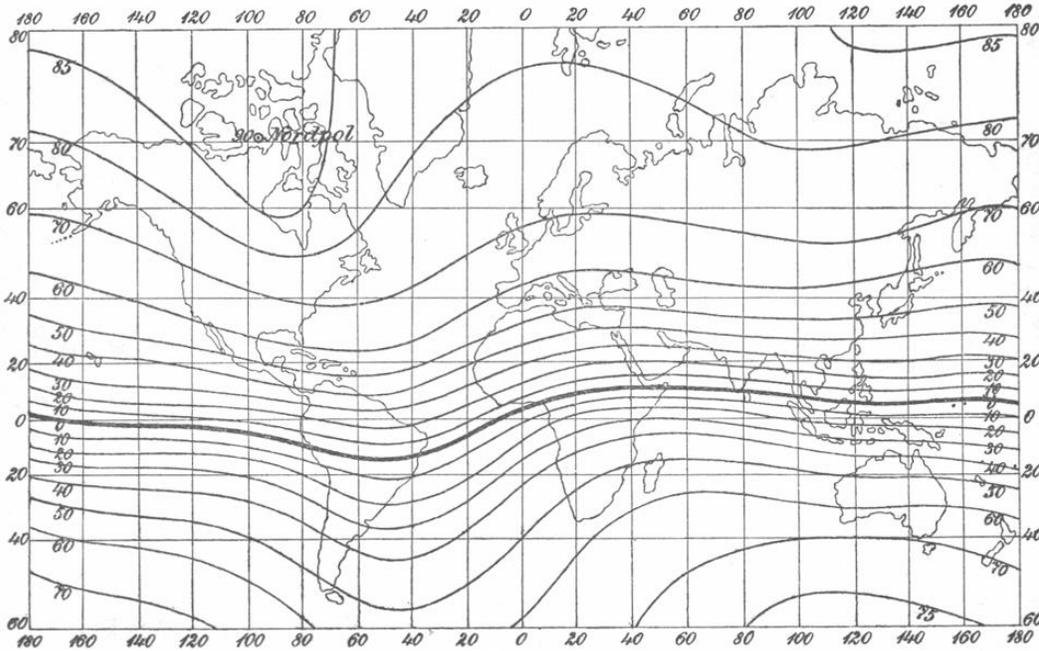
(P. 146.)

Wie man sieht, sind diese Pole durchaus nicht die Enden eines Erddurchmessers. Der Nordpol liegt westlich von der Halbinsel Boothia, der Südpol zwischen Victoria und Wilkesland.

Zwischen den Erdpolen und den ihnen benachbarten magnetischen Polen ändert sich  $\delta$  ausserordentlich rasch, hier liegen die Isogonen sehr dicht bei einander, in der Nähe des Aequators hingegen und nördlich davon liegen sie sehr weit auseinander. Von den einzelnen Isogonen lenken zunächst die beiden stark gezeichneten schrägen Linien die Aufmerksamkeit auf sich, die, vermöge ihrer Fortsetzung auf Fig. 146 auch als eine einzige um die Erde herumgehende Linie aufgefasst werden können. Es ist das die Linie, auf welcher  $\delta=0$  ist und welche agonische Linie heisst. Streng genommen ist aber die Zusammenfassung der beiden agonischen Linien in eine einzige unerlaubt, weil auf zwei Strecken derselben, nämlich zwischen den beiden Nordpolen und zwischen den beiden Südpolen  $\delta$  nicht Null, sondern  $\pm 180^{\circ}$  ist, die Nadel also zwar in den geographischen Meridian fällt, aber nicht mit ihrem Nordpol, sondern mit ihrem Südpol nach dem geographischen Nordpol hinweist. Die agonischen Linien grenzen das Gebiet westlicher, positiver Deklination (fast ganz Europa, Afrika, Vorder-Asien, die östlichen Drittel von Nord- und Süd-Amerika, die Westspitze

von Australien) von dem Gebiete östlicher, negativer Deklination (das übrige) ab; sie schneiden den Aequator etwa in  $78^\circ$  östlicher und  $55^\circ$  westlicher Länge, also ebenfalls bei weitem nicht in zwei gegenüberliegenden Punkten. Ausserdem ist noch eine in sich geschlossene, eine Anomalie darstellende agonische Linie vorhanden, welche eine Enklave westlichen  $\delta$ 's (bis zu  $+7^\circ$ ) in China, Japan und Ost-Sibirien umschliesst. Trotzdem ist das Gebiet des östlichen  $\delta$  nicht unwesentlich grösser als dasjenige des westlichen  $\delta$ .

Die Isogonen, denen ein von Null verschiedener Werth von  $\delta$  entspricht, zerfallen in drei Klassen, nämlich 1) solche, welche vom Erdnordpol zum magnetischen Südpol oder vom magnetischen Nordpol zum Erdsüdpol laufen, also den Aequator passiren, 2) solche, welche vom geographischen zum magnetischen Nordpol oder vom geographischen zum magnetischen Südpol verlaufen,

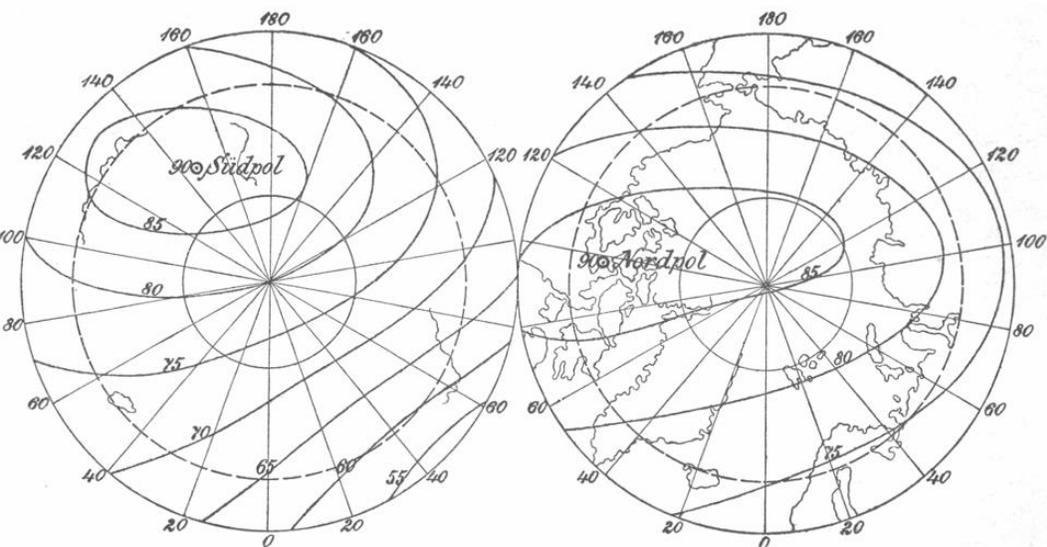


(P. 147.)

sich also auf eine einzige Erdhälfte beschränken, und 3) solche, welche in sich selbst geschlossen verlaufen, und zwar a) innerhalb oder unmittelbar ausserhalb der obigen geschlossenen agonischen Linie, b) im äquatorialen Theil des stillen Oceans, westlich von Süd-Amerika (auf der Karte behufs Wahrung der Gleichförmigkeit der Darstellung nicht verzeichnet). Dazu kommen schliesslich noch zwei Grenzfälle, nämlich 4) als Grenzfall zwischen 1) und 2) derjenige zweier sich in Spitzen berührender, scheinbar also sich schneidender Linien, die dasselbe  $\delta$  besitzen und deren eine vom magnetischen Nord- zum geographischen Südpol, deren andere umgekehrt verläuft: verwirklicht für  $\delta = +20^\circ$  und auf der Karte verzeichnet, und 5) als Grenzfall zwischen 1) und 3) der Fall einer Schleife zwischen Nord- und Südpol: verwirklicht für  $\delta = -2^\circ$  in Asien und für  $\delta = -7^\circ$  im äquatorialen Pacific.

Inklination. Isoklinen. Weit einfacher als bei der Deklination gestalten sich die Verhältnisse bei der Inklination  $\varphi$ , d. h. dem Winkel zwischen der Nadelrichtung im Raume und der Horizontalen, und bei den sie darstellen-

den Isoklinen, die in Fig. 147 und 148 in analoger Weise wiedergegeben sind. Inklination und Isoklinen verhalten sich wenigstens in erster Annäherung so wie geographische Breite und Parallelkreise, d. h.  $\varphi$  ist in der Nähe des Aequators null, wächst nach beiden Polargebieten hin bis zu  $90^\circ$  und die Isoklinen laufen im Grossen und Ganzen von Westen nach Osten. In Deutschland bewegt sich  $\varphi$  zwischen den Grenzen  $63^\circ$  und  $69^\circ$ . Die Abweichung der Isoklinen von den Parallelkreisen wird desto grösser, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Die Linie der Punkte  $\varphi = 0$ , die »aklinische Linie, Inklinationsäquator oder magnetischer Aequator« genannt, entfernt sich vom geographischen Aequator nirgends um mehr als  $13^\circ$ , am meisten nach Süden in Süd-Amerika, am meisten nach Norden zwischen Ost-Afrika und Ceylon, während sich beide Linien in zwei Punkten schneiden, nämlich in  $8^\circ$  und  $170^\circ$  westl. Länge (Busen von



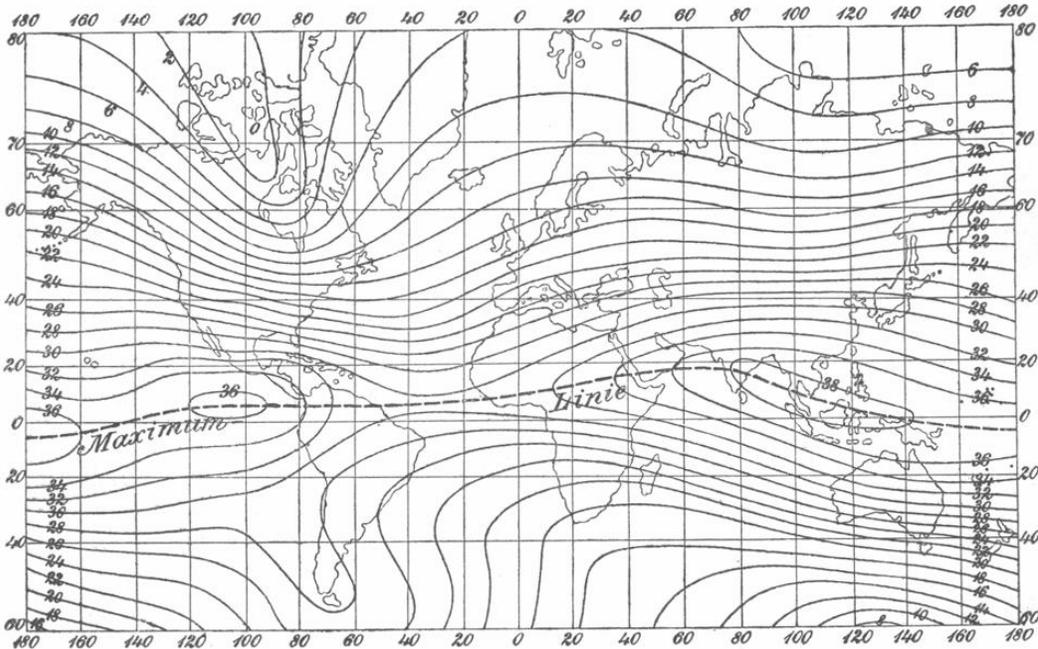
(P. 148.)

Guinea und stiller Ocean). Viel näher als dem Erdäquator kommt hiernach der magnetische Aequator einer anderen grössten Kreislinie der Erde, welche gegen jenen um einen gewissen Winkel geneigt ist, eine Thatsache, welche verständlich wird, wenn in Erinnerung gebracht wird, dass auch die Verbindungslinie der magnetischen Pole gegen die Erdaxe, und zwar in demselben Sinne, geneigt ist.

Geht man nun vom Aequator nordwärts, so gewinnen die Isoklinen immer grössere Vorsprünge vor den Parallelkreisen, und zugleich nimmt die europäisch-asiatische Ausbuchtung und die amerikanische Einbuchtung der Isoklinen immer mehr zu, derart, dass die  $80^\circ$  Linie sich zwischen den weiten Grenzen  $50^\circ$  und  $78^\circ$  nördl. Breite hinschlängelt, ein Verhalten, das freilich weniger der Curve an sich, als vielmehr ihrer MERCATOR'schen Projection charakteristisch ist, und das sich in der Polarprojection in der verständlicheren Form ausdrückt, dass die Isoklinen in höheren Breiten in langgestreckte, ellipsenähnliche Curven übergehen, deren Mittelpunkt eben vom geographischen Nordpol nach Amerika hin abweicht. Aehnlich auf der südlichen Halbkugel, nur dass hier die östliche Halbkugel eine Einbuchtung, die westliche eine Ausbuchtung aufweist. Schliesslich schrumpfen die erwähnten Ellipsen mehr und mehr zusammen, und man gelangt zu guterletzt zu den Punkten  $\varphi = 90^\circ$ , den Inklinationsspolen, die aber, weil aus  $\varphi = 90^\circ$

wiederum  $H = 0$  folgt, mit den Deklinationen zusammenfallen und mit ihnen gemeinsam Magnetpole der Erde heissen. Im geographischen Nordpole ist, wie noch bemerkt werden möge, etwa  $\varphi = 86^\circ$ , im geographischen Südpole dagegen nur etwa  $\varphi = 80^\circ$ . Endlich ist noch hervorzuheben, dass die Isoklinen sich zu beiden Seiten des magnetischen Aequators ausserordentlich dicht zusammendrängen und in der Nähe der Pole weit auseinander treten, dass also  $\varphi$  sich dort sehr rasch, hier sehr langsam ändert, ein Verhalten, das übrigens wesentlich schon in der geometrischen Bedeutung der Inklination begründet ist.

Horizontalintensität.  $H$ -Isodynamen. Nach den Auseinandersetzungen des vorigen Artikels ist die der genauesten Messung zugängliche Grösse nicht die gesammte, sondern die horizontale Componente der Intensität des Erdmagnetismus,  $H$ . Diese Grösse ist in Fig. 149 und 150 in der bisherigen Weise

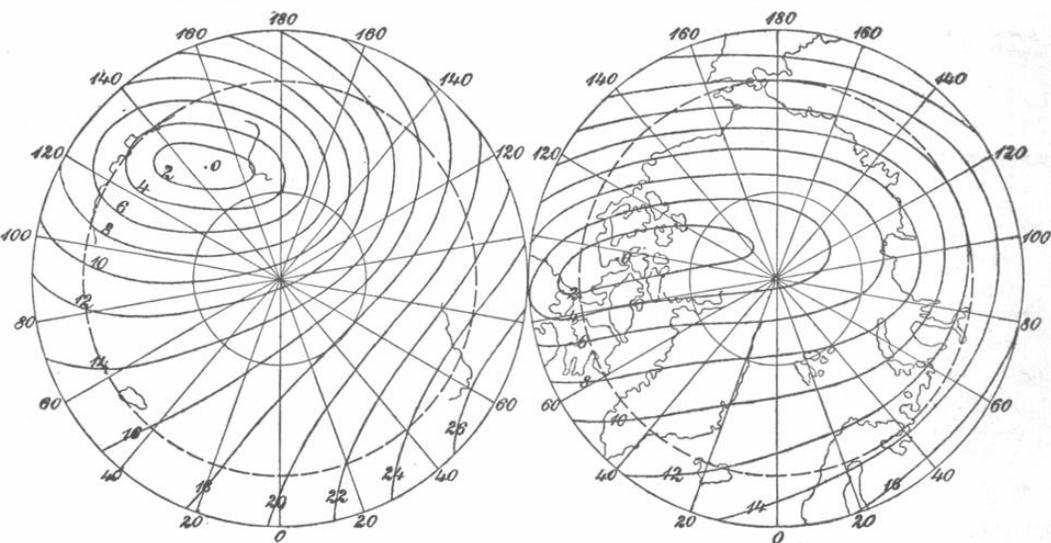


(P. 149.)

durch die Horizontal-Isodynamen dargestellt; die beigegefügte Zahlen bedeuten hundertel der absoluten C. G. S. Einheit. Die Grösse  $H$  schwankt hiernach zwischen 0 und 0.39, den ersteren Werth besitzt sie in den  $H$ -Polen, die, wie man nach dem obigen ohne Weiteres einsieht, mit den  $\delta$ - und  $\varphi$ -Polen, also mit den magnetischen Polen schlechthin identisch sind, den grössten Werth nimmt sie in der Nähe des Aequators, jedoch  $6-8^\circ$  nördlich von ihm, an, und zwar nicht überall, sondern nur in derjenigen geographischen Länge, welche etwa Hinter-Indien entspricht. In Deutschland bewegt sie sich zwischen den Werthen 0.17 und 0.21.

Was die  $H$ -Isodynamen betrifft, so sind sie, wie man sieht, in der nördlichen gemässigten Zone in erster Annäherung den Breitenkreisen ähnliche Linien, nur dass sie, ähnlich wie die Isoklinen, auf der östlichen Halbkugel nach Norden, auf der westlichen nach Süden ausbiegen, wobei aber hier die erstere Abweichung nur schwach, die letztere hingegen, besonders nach Norden hin, sehr stark wird. Auf der südlichen Halbkugel sind die Ausbiegungen umgekehrt, ausserdem aber, zumal auf der westlichen Hälfte, viel stärker. Nach den Polen zu gehen auch

diese Curven in Curven von der Gestalt gestreckter Ellipsen über, die nördliche Ellipse ist weit gestreckter als die südliche. Ein ganz anderes Bild, im Vergleich mit den Isoklinen, bieten dagegen die  $H$ -Isodynamen zu beiden Seiten des Aequators dar. Die letzte Isodynamie nämlich, welche einem Parallelkreise ähnlich, rund um die Erde läuft, ist sowohl auf der nördlichen wie auf der südlichen Halbkugel diejenige, welcher der Werth  $H = 0.30$  entspricht. Dagegen bilden die höheren Werthen entsprechenden Curven sehr längliche, in sich zurücklaufende Linien, derart, dass jetzt jedem Werthe von  $H$  nur eine solche Linie entspricht, die aber theils auf der nördlichen, theils auf der südlichen Halbkugel liegt. Bei noch höheren Werthen, etwa  $H = 0.35$ , findet alsdann eine Theilung jener geschlossenen Linie in zwei solche statt, so dass man schliesslich zu zwei Punkten gelangt, in denen  $H$  relative Maximalwerthe annimmt, der eine, und zwar



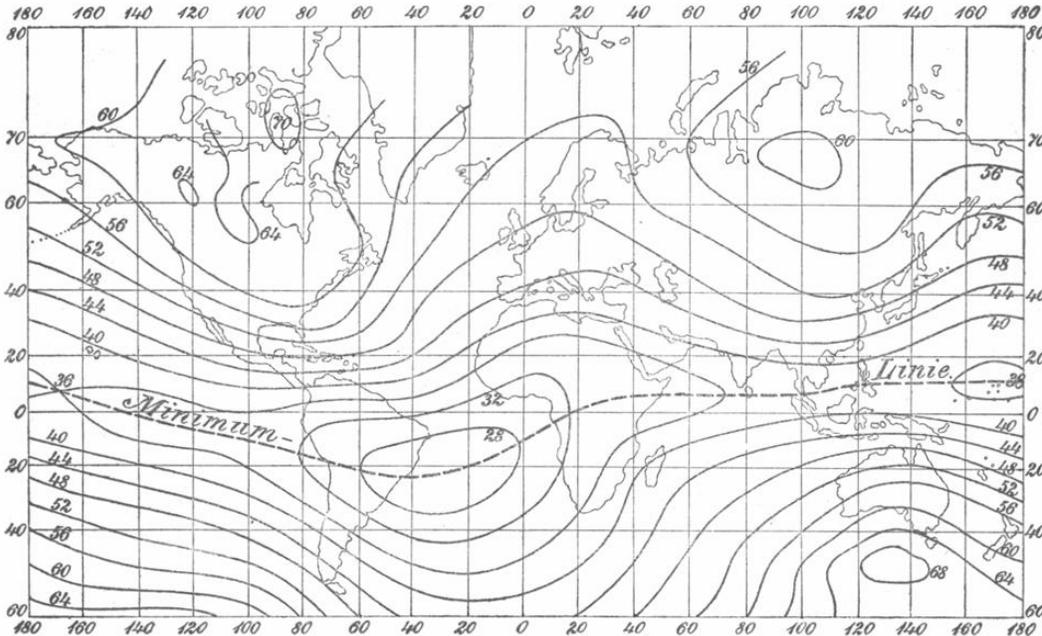
(P. 150.)

der absolute Maximalwerth, ist der oben schon genannte ( $0.39$  in Hinter-Indien), der andere beträgt etwa  $0.37$  und liegt westlich von Central-Amerika. In Bezug auf die Dichte der Lagerung unterscheiden sich die  $H$ -Isodynamen ebenfalls von den Isoklinen, sie sind nicht am Aequator, sondern etwa bei  $\pm 40^\circ$  am dichtesten concentrirt, die Unterschiede sind aber hier überhaupt nicht so bedeutend wie bei  $\varphi$ .

Endlich lässt sich auch für die Horizontalintensität ein Begriff aufstellen, den man als Aequator, und zwar als  $H$ -Aequator bezeichnen könnte, nämlich die Verbindungslinie aller Punkte, deren jeder auf seinem Meridian den grössten Werth von  $H$  aufweist. Diese Linie ist in Fig. 149 gestrichelt dargestellt, sie liegt, abgesehen von einem kleinen Stück in der Südsee, durchweg über dem Aequator, am meisten in Vorderindien. Eine Isodynamie ist sie natürlich nicht, vielmehr schwankt  $H$  auf ihr zwischen den Grenzen  $0.31$  und  $0.39$ . Von dem eigentlichen magnetischen Aequator ( $\varphi = 0$ ), weicht der  $H$ -Aequator, wie ein Vergleich der Fig. 149 und 147 lehrt, fast überall nach Norden ab, auch ist der Verlauf ein wesentlich anderer.

Totalintensität. Total-Isodynamen. Statt nun auch die Vertikalcomponente des Erdmagnetismus zu betrachten, genügt es, gleich zur Resultante  $R$ , der ganzen erdmagnetischen Kraft, überzugehen. Sie ist in Fig. 151 für den

mittleren Theil der Erde dargestellt, wieder in hunderteln des *C. G. S.* Werthes, die Polargegenden bieten nichts besonderes dar. Die Grösse  $R$  verhält sich gerade umgekehrt wie  $H$ , sie nimmt von der Aequatorgegend, wo — östlich von Süd-Amerika — ihr kleinster Werth, 0·28 stattfindet, nach höheren Breiten hin mehr und mehr zu — in Deutschland bewegt sie sich zwischen den Grenzen 0·45 und 0·48 — und erreicht an einigen Stellen relative Maxima, eines südlich von Australien im Betrage von 0·69, eines im nördlichen Mittel-Sibirien (0·62) und eines, welches zugleich das absolute Maximum ist, in Nord-Amerika, östlich von Boothia etwa in 71° nördl. Br., mit dem Werthe 0·71. Man kann diese Punkte, namentlich den ersten und letzten der drei genannten, mit dem Namen Intensitätspol oder Focus belegen, sieht aber ein, dass kein Grund zu der Annahme vorliegt, diese Punkte möchten mit den Magnetpolen zusammenfallen;

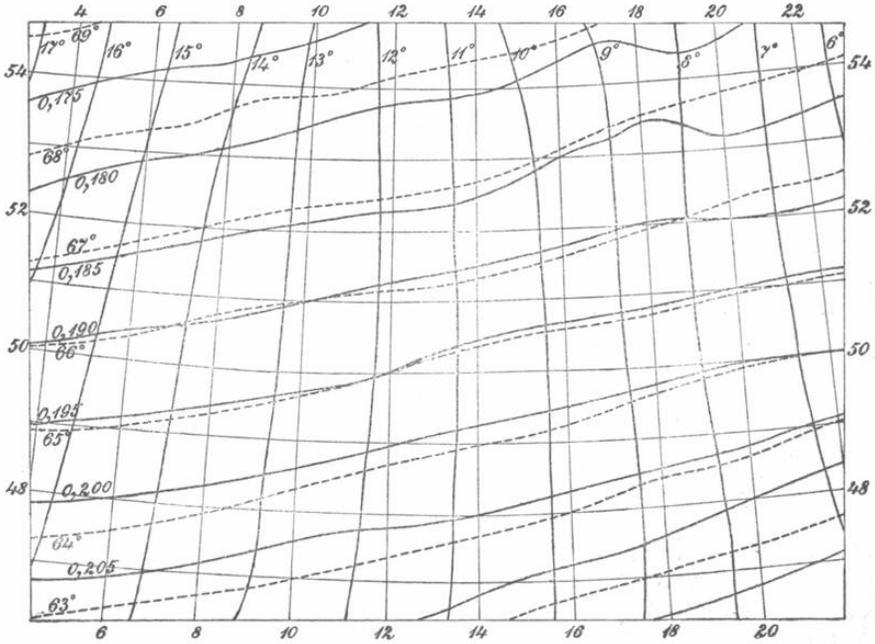


(P. 151.)

in der That liegt der südliche Focus sehr weit vom magnetischen Südpol entfernt, der nördliche Focus liegt freilich dem magnetischen Nordpol ziemlich nahe, es ist aber zu bemerken, dass gerade in dieser Hinsicht der Fortschritt in der Ausmessung der betreffenden Gegenden ungeheure Umwälzungen zur Folge gehabt hat, Umwälzungen, welche den Focus immer weiter nach Norden gerückt haben, so dass man auch heute noch nicht sagen kann, ob die angenommene Lage die richtige sei, zumal da die  $R$ -Isodynamen in dieser Gegend, wie die Karte zeigt, einen sehr krausen Verlauf aufweisen. Wie für die Maximalwerthe von  $H$ , so kann man endlich auch für die Minimalwerthe von  $R$  eine Curve bilden, welche in der Zeichnung gestrichelt wiedergegeben ist; sie liegt zur Hälfte nördlich, zur Hälfte südlich vom Aequator, den sie in Kamerun und in der Südsee schneidet, und  $R$  bewegt sich auf ihr zwischen den Werthen 0·26 und 0·38. Von dem magnetischen Aequator weicht der  $R$ -Aequator beträchtlich, und zwar fast überall nach Süden, ab, noch stärker folglich vom  $H$ -Aequator. In den Punkten des Inklinationsäquators muss natürlich  $H = R$  werden, wodurch

man eine Kontrolle für den Vergleich der Horizontal- und der Total-Isodynamen in dieser Gegend erhält. Beide Grössen aber,  $H$  wie  $R$ , schwanken auf dem  $\varphi$ -Aequator recht bedeutend, nämlich zwischen den Grenzen 0·27 und 0·39.

Im Folgenden sind die erdmagnetischen Elemente für einige Breiten (linke Vertikalreihe) und Längen (oberste Horizontalreihe) für Anfang 1893 tabellarisch, ausserdem in Fig. 152 für Deutschland und Anfang 1885 graphisch dargestellt<sup>1)</sup>.



(P. 152.)

Deklination  $\delta$ .

	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
45°	14·8°	14·0	13·0	12·3	11·5	10·6	9·9	9·0	8·1	7·2	6·4	5·7
50°	15·8	14·8	13·7	12·9	11·8	10·9	9·8	8·8	8·0	7·0	6·0	5·1
55°	16·4	15·3	14·4	13·4	12·3	11·1	9·7	8·4	7·7	6·7	5·6	4·6

Inklination  $\varphi$ .

	0°	5°	10°	15°	20°	25°
45°	63·1°	62·3	61·6	61·0	60·4	59·7
46°	63·8	63·0	62·3	61·8	61·3	60·5
47°	64·4	63·8	63·1	62·5	62·2	61·4
48°	65·2	64·6	63·9	63·3	63·0	62·1
49°	65·9	65·3	64·7	64·1	63·8	63·0
50°	66·5	66·0	65·4	64·9	64·5	63·7
51°	67·2	66·6	66·1	65·7	65·2	64·3
52°	67·8	67·2	66·7	66·4	66·0	65·1
53°	68·4	67·8	67·3	67·0	66·8	65·9
54°	69·0	68·5	68·0	67·7	67·5	66·8
55°	69·7	69·2	68·7	68·3	68·0	67·6

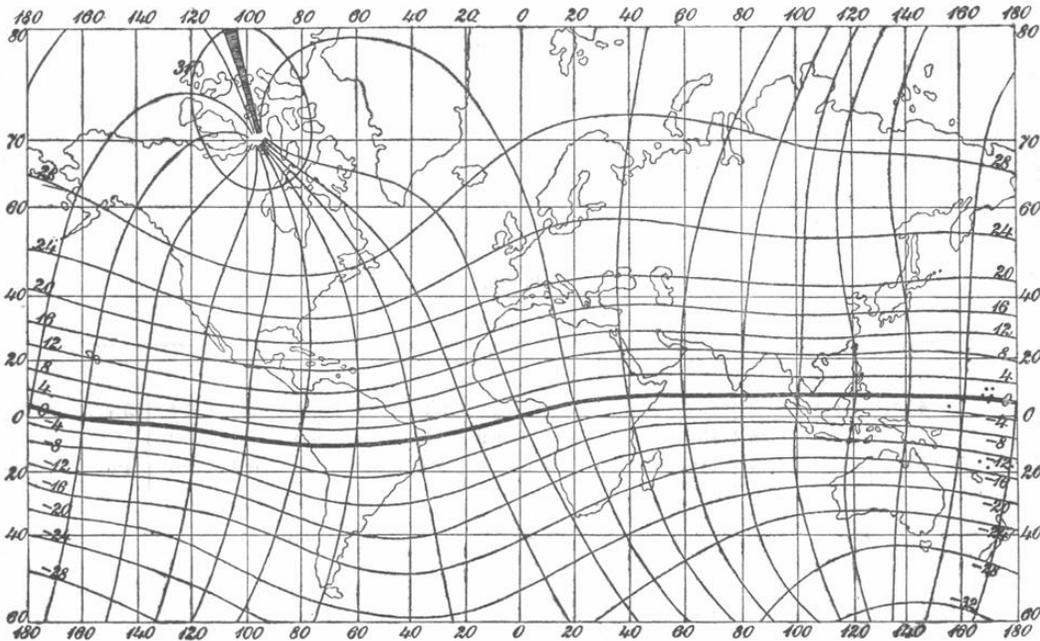
<sup>1)</sup> Die Zahlen nach NEUMAYER, ESCHENHAGEN, KOHLRAUSCH u. A., die Karte nach ESCHENHAGEN in KIRCHHOFF's Anleitung zur deutschen Landeskunde, Stuttgart, 1888.

Horizontalintensität  $H$  (in Tausendteln).

	0°	5°	10°	15°	20°	25°
45°	209	213	217	221	225	230
46°	204	209	212	217	221	225
47°	200	204	208	212	216	220
48°	196	200	204	208	211	216
49°	192	196	200	203	207	211
50°	188	192	196	199	202	206
51°	184	188	192	195	197	201
52°	181	184	188	190	192	195
53°	177	180	184	186	188	190
54°	173	177	180	182	185	186
55°	169	173	176	178	180	182

Zur Umrechnung auf andere Zeitpunkte sei gleich hier bemerkt, dass  $\delta$  alljährlich,  $\varphi$  etwa in 3 Jahren um  $0.1^\circ$  abnimmt,  $H$  dagegen in etwa 4–8 Jahren (je nach der Gegend) um 1 Tausendstel zunimmt.

Kraftlinien und Niveaulinien. Den obigen Systemen von Linien schliessen sich noch zwei weitere Systeme an, welchen in wissenschaftlicher Hin-



(P. 153.)

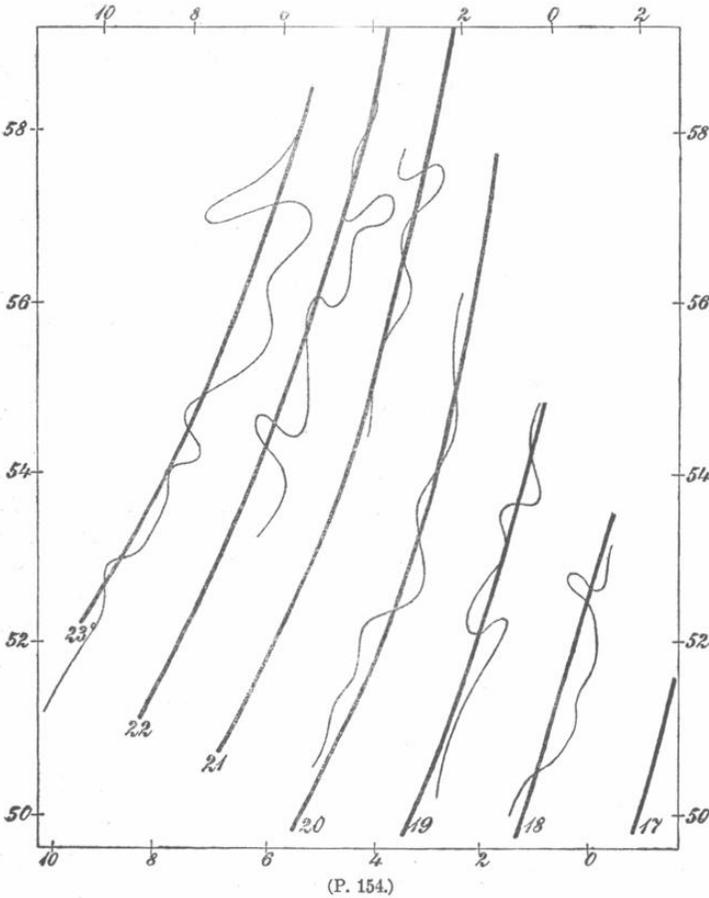
sicht sogar eine noch grössere Bedeutung zukommt. Es sind das diejenigen beiden Curvenschaaren, welche man in den verschiedensten Gebieten physikalischer Erscheinungen als Kraft- und Niveaulinien bezeichnet. Die Kraftlinien sind diejenigen Curven, deren Richtung in jedem ihrer Punkte mit der Richtung der betreffenden, hier also der horizontalen Componente der erdmagnetischen Kraft übereinstimmt; sie werden im vorliegenden Falle gewöhnlich magnetische Meridiane genannt und können entweder direkt durch Beobachtung der Nadel an verschiedenen Orten oder aus den Isogonen in leicht ersichtlicher Weise abgeleitet werden. Die Niveaulinien andererseits sind Linien, die überall

diejenige Richtung haben, in welcher gar keine Kraft der betreffenden Art, hier also keine magnetische Kraft wirkt, für deren Punkte also das Potential  $V$  den gleichen Werth hat; man nennt sie auch magnetische Gleichgewichtslinien oder Linien gleichen magnetischen Potentials  $V$ . Diese beiden Liniensysteme sind in Fig. 153 dargestellt und zwar die Niveaulinien für je um 0.04 C. G. S. Einheiten absteigende Werthe nicht von  $V$ , sondern von  $V/r$ , wo  $r$  der äquatoriale Erdradius ist (nur die äusserste Curve im Norden entspricht einem nur um 0.03 differenten Werthe), die Zahlen bedeuten hundertel; von den Meridianen, für die es eine in der Natur der Sache begründete Auswahl nicht giebt, sind diejenigen gewählt, welche den Erdäquator in durch 20 theilbaren Längen östlich oder westlich von Greenwich schneiden. Es muss bemerkt werden, dass zwei Curvensysteme von der Bedeutung der hier vorliegenden sich bekanntlich überall senkrecht schneiden, wenn das in der Figur nicht überall genau der Fall ist, so liegt dies daran, dass die Meridiane aus der Beobachtung, resp. aus den Isogonen, die Niveaulinien hingegen aus der Theorie (s. w. u.) abgeleitet wurden.

Diese Curven bieten nun ein sehr anschauliches Bild der Verhältnisse dar, und zwar sowohl für  $\delta$  als auch für  $H$ . Wo die Niveaulinien horizontal, die Meridiane vertikal verlaufen, ist offenbar  $\delta = 0$ , durch Verbindung der bezüglichen Punkte erhält man also wieder die agonischen Linien der Fig. 145. Wo die Niveaulinien von links unten nach rechts oben, die Meridiane von links oben nach rechts unten verlaufen, ist  $\delta$  positiv (westlich), im entgegengesetzten Falle negativ (östlich). Wo die Niveaulinien dicht bei einander liegen, also am Aequator, ist  $H$  gross, wo sie weit von einander liegen, also in den Polargegenden, ist  $H$  klein. Vor den Isogonen haben die Meridiancurven den Vorzug, dass sie nur in den magnetischen und nicht auch in den geographischen Polen zusammentreffen, und dass in Folge dessen das Bild ein einfacheres ist. Ebenso haben auch die Niveaulinien vor den Horizontal-Isodynamen, mit denen sie sonst einige Aehnlichkeit haben, den Vorzug, dass die geschlossenen Linien in der Nähe des Aequators wegfallen, das Bild also ebenfalls einfacher wird. Endlich ist darauf hinzuweisen, dass sich auch hier eine ausgezeichnete Linie vorfindet, nämlich diejenige Gleichgewichtslinie, für welche  $V = 0$  ist, welche also die Erdgebiete mit positivem von den mit negativem Werthe des magnetischen Potentials von einander trennt; man kann sie Deklinations- oder Potential-Aequator nennen; von den übrigen magnetischen Aequatorlinien weicht sie nicht unwesentlich ab, am wenigsten noch vom Inklinations-Aequator.

Besondere örtliche Erscheinungen. An vielen Stellen der Erdoberfläche treten anomale Werthe der erdmagnetischen Elemente, d. h. solche auf, welche von denen der Umgebung mehr, als zu erwarten wäre, abweichen, und in Folge dessen ergeben sich eigenthümliche Anomalien im Verlaufe der im übrigen sanft gekrümmten isomagnetischen Linien. In den obigen Figuren zeigen sich solche Anomalien nur dann, wenn sie sich über grosse Gebiete erstrecken, z. B. die Wellen der Isodynamen 0.180 und 0.185 auf der deutschen Karte Fig. 152; im weiteren Sinne könnte man natürlich selbst solche Gebilde wie die Deklinations-Enklave in Ost-Asien u. s. w. als Anomalien grössten Maassstabes bezeichnen. Die meisten Anomalien sind relativ sehr kleinen Maassstabes, sie treten in jenen Karten nicht hervor, theils weil sie zu unscheinbar sind, theils aber, weil sie absichtlich eliminirt, die Curven also entsprechend vereinfacht wurden. In diesem Sinne nennt man die obigen Linien terrestrische Curven und stellt ihnen die magnetischen Lokalcurven gegenüber. Fig. 154, die

sich auf Grossbritannien bezieht, zeigt, wie stark die einen oft von den anderen abweichen, und wie mannigfaltig und stark die Lokalcurven zuweilen gekrümmt sind. So beträchtliche Abweichungen kommen natürlich nicht allenthalben, viel-



mehr vorzugsweise in der Nähe von Gebirgen vor, welche magnetische Massen enthalten, sowie in der Nähe von Küsten und Inseln — Abweichungen, welche ganz an diejenigen erinnern, welche Grösse und Richtung der Schwerkraft unter denselben Umständen aufweisen. Es wird hiervon, insbesondere von dem Gebirgsmagnetismus, noch die Rede sein<sup>1)</sup>.

Endlich ist noch die Frage nach den Werthen der erd-

magnetischen Elemente in verschiedenen Höhen über der Erdoberfläche resp. in verschiedenen Tiefen unter ihr zu berühren. Leider liegen gegenwärtig in ersterer Hinsicht nur wenige, in letzterer gar keine erwähnenswerthen Bestimmungen vor, was in Anbetracht der bezüglichlichen Schwierigkeiten nicht zu verwundern ist; namentlich leuchtet es ein, dass die Anstellung magnetischer Messungen in Luftballons — und gerade solche sind naturgemäss von besonderer Wichtigkeit — eine überaus heikle Aufgabe ist. Auf Bergen fand FORBES eine Abnahme von  $H$  um  $\frac{1}{30000}$  seines Werthes, von  $\varphi$  um  $5''$  auf je 100 englische Fuss, aus den Beobachtungen von KREIL und von HARTL in den Alpen lässt sich dagegen ein sicherer positiver Schluss nicht ziehen; in Ballons fanden GAY-LUSSAC, GLAISHER und Andere so widersprechende Zahlen und selbst Vorzeichen der Aenderung, dass man gar nichts oder höchstens soviel daraus schliessen kann, dass diese Aenderung sehr klein ist und von den Fehlerquellen mehr oder weniger

<sup>1)</sup> Ein Gebiet besonders starker lokaler Störungen sind einige Stellen der Ostseeküste, ein anderes die Gegend von Charkow und Süd-Russland, wo innerhalb von 20 Quadratmeilen  $\delta$  von  $+48^\circ$  bis  $-38^\circ$ ,  $\varphi$  von  $52^\circ$  bis  $81^\circ$ ,  $H$  von  $0.11$  bis  $0.40^\circ$  schwankt.

verdeckt wird. Immerhin wird hierauf bei der Theorie noch zurückzukommen sein<sup>1)</sup>.

### Zeitliche Aenderungen.

Schon in den ersten Zeiten magnetischer Beobachtungen erkannte man, dass die einem Orte zukommenden Werthe der magnetischen Elemente sich mit der Zeit ändern. Gegenwärtig weiss man, dass diese Aenderung eine sehr mannigfaltige ist und in dieser Hinsicht die Aenderungen z. B. der Lufttemperatur noch weit übertrifft. Die erste Unterscheidung, die man machen kann, nämlich die zwischen periodischen und nichtperiodischen Aenderungen, hält in letzter Instanz nicht Stich, da man bei der Kürze des Zeitraumes, den selbst die drei Jahrhunderte bisheriger Beobachtung darstellen, nicht wissen kann, ob nicht auch die scheinbar unperiodischen Veränderungen in Wahrheit periodisch sind. Es bleibt also im Wesentlichen nur die Klassificirung nach der Länge der Periode übrig, und es sind hier die säkularen, die vieljährigen, die jährlichen, die täglichen Schwankungen zu unterscheiden, wozu dann schliesslich noch die dem Anscheine nach unregelmässigen, grösstentheils plötzlichen Veränderungen kommen. Von den meisten Aenderungen wird die Deklination am stärksten, die Totalintensität am schwächsten betroffen.

Säkulare Deklinationsänderung. Wenn man für einen Ort die Werthe von  $\delta$  für zahlreiche Zeitpunkte eines grösseren Zeitraumes kennt, so kann man daran gehen, sie durch eine Formel darzustellen, welche alsdann die Rückberechnung der Werthe für die übrigen Punkte jenes Zeitraumes mit einer gewissen Genauigkeit gestattet, während die Anwendung der Formel auf ausserhalb gelegene Zeitpunkte, also die Extrapolation gefährlich ist und oft ganz falsche Werthe liefert; es muss also jener Zeitraum der Formel stets beigefügt werden. Am gebräuchlichsten ist die parabolische Formel

$$\delta = \delta_0 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2,$$

in welcher  $t_0$  ein fester Zeitpunkt, die sogen. Epoche,  $\delta_0$  die ihr entsprechende beobachtete Deklination,  $t$  irgend eine Zeit,  $\delta$  die entsprechende Deklination ist, und  $a$  und  $b$  Constanten sind. Nur für wenige Orte hat man diese Constanten bisher berechnen können, und auch für diese nur für sehr verschiedene Epochen und Zeiträume; eine Auswahl giebt die folgende Tabelle.

Säkulare Deklination.

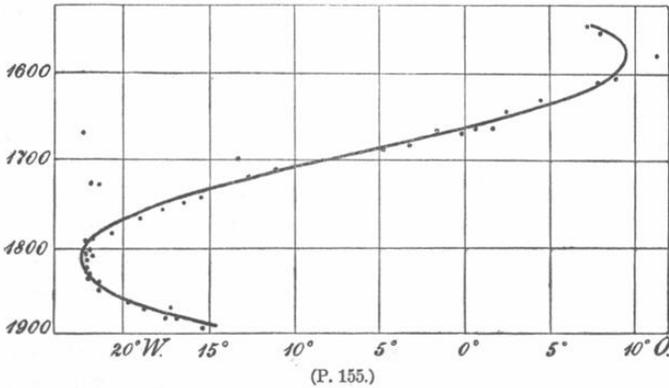
Ort	$\delta_0$	$a$	$b$	Zeitraum	$t_0$	Autor
Petersburg . . .	1° 37'64'	- 6'5200'	—	1873—1885	1873	MÜLLER
Berlin . . . . .	18° 7'30'	- 0'2681'	- 0'070'	1730—1870	00	ERMANN
Göttingen . . .	14° 51'70'	- 8'8430'	- 0'053'	1632—1885	67'52	KOHLRAUSCH
Greenwich . . .	20° 24'97'	- 7'8730'	+ 0'049'	1858—1875	66	NEUMAYER
Prag . . . . .	12° 34'08'	- 7'0480'	+ 0'092'	1855—1876	65	"
Wien . . . . .	11° 39'42'	- 7'3436'	+ 0'017'	1853—1871	65	"
München . . . .	14° 58'92'	- 7'2822'	+ 0'005'	1842—1872	57	"
Mailand . . . .	13° 31'00'	- 6'7270'	- 0'004'	1836—1884	80	CHISTONI
Venedig . . . .	11° 49'00'	- 6'8250'	- 0'008'	1848—1884	80	"
Toronto . . . .	1° 57'58'	+ 2'8890'	- 0'013'	1841—1871	56	NEUMAYER
Rio de Janeiro .	0° 24'40'	+ 8'0940'	+ 0'022'	1670—1885	50	WEYER
Melbourne . . .	- 8° 19'74'	+ 1'1800'	+ 0'020'	1858—1884	71'5	NEUMAYER

<sup>1)</sup> Vergl. z. B. AIRY, Ueb. d. Magnetismus, deutsch v. TIETJEN, Berlin 1874, pag. 77; HUMBOLDT, Kosmos, Bd. 4, pag. 93. 1858; KREIL, Denkschr. Wiener Akad. I, pag. 279 1850. HARTL, Zeitschr. f. Meteor. 1881, pag. 102.

Eine parabolische Formel ergibt für die dargestellte Grösse bekanntlich zweimal den Werth Null und dazwischen ein Maximum. So findet man z. B.

	$\delta = 0$	$\delta_{max}$	Betrag
für Berlin	1673 und 1923	1798	18° 9'
„ Göttingen	1632 „ 1938	1785	19° 32'

wobei es aber sehr wohl möglich ist, dass die Beobachtung in den Jahren 1923 resp. 1938 von Null stark abweichende Werthe von  $\delta$  ergeben wird. Für Paris,



(P. 155.)

wo sich die Beobachtungen bereits durch fast vier Jahrhunderte erstrecken, reicht die Parabel nicht aus, da sich hier auch ein Minimum, d. h. ein negatives (östliches) Maximum von  $\delta$  ergeben hat; die betreffende, in Fig. 155 dargestellte

Curve ist vielmehr wellen- resp. sinusartig, wobei allerdings kleinere Wellen und Unregelmässigkeiten zur Vereinfachung des Bildes eliminirt worden sind; als besondere Werthe findet man:

- Minimum im Jahre 1580, Betrag  $-9^\circ 30'$ ,
- Null „ „ 1600
- Maximum „ „ 1810, Betrag  $+22^\circ 18'$ .

Noch andere Orte weisen zwar ebenfalls Maxima und Minima auf, ohne jedoch dabei das Vorzeichen gewechselt zu haben (für New-York z. B. sind die Extreme der letzten 200 Jahre  $+4^\circ$  und  $+9^\circ$ ). Endlich sei noch ein Beispiel für eine Darstellung gegeben, welche sich für sehr lange Reihen zuweilen bewährt hat, und bei welcher zwei verschiedene Epochen  $t_1$  und  $t_2$ , sowie zwei verschiedene Perioden  $T_1$  und  $T_2$  zu Grunde gelegt werden:

$$\delta = \delta_0 - a \sin(t - t_1) \frac{360^\circ}{T_1} - b \sin(t - t_2) \frac{360^\circ}{T_2};$$

für Christiania z. B. ist

$$\delta_0 = 5.99^\circ, \quad a = 13.53^\circ, \quad t_1 = 1502.2, \quad T_1 = 420,$$

$$b = 0.53^\circ, \quad t_2 = 1517.5, \quad T_2 = 82,$$

und man findet

$$\delta = 0 \text{ in den Jahren } 1530, 1681, 1950,$$

$$\delta_{max} \text{ im Jahre } 1822, \text{ Betrag } +20^\circ 1',$$

$$\delta_{min} \text{ „ „ } 1612, \text{ „ } -7^\circ 56'.$$

Am anschaulichsten ergeben sich die Veränderungen von  $\delta$  durch Vergleichung der im Laufe der Jahrhunderte publicirten und neuerdings mehrfach zusammengestellten Isogonenkarten, namentlich für die Jahre 1600, 1700, 1800, 1858 und 1885. Nur wenige Gebiete haben während dieser Zeit ihr Vorzeichen gewahrt, so sind West-Australien und die Neu-England-Staaten stets westlich, Ost-Australien und Süd-Amerika (mit Ausnahme der Ostecke) stets östlich geblieben, Afrika ist wenigstens seit 1700 westlich; Europa und Asien hingegen haben Zeichenwechsel, und zwar zum Theil wiederholte, aufzuweisen. Die agonische Linie, die jetzt durch Amerika geht, bog früher (1600) stark nach Osten aus und umschloss fast

ganz Europa, erst allmählich hat sie sich zurückgezogen und ihre heutige einfache Gestalt angenommen. Umgekehrt war damals die andere agonische Linie nahezu 'gerade, erst mit der Zeit bauchte sie sich nach Ost-Asien aus und schnürte schliesslich die jetzige geschlossene Agone von sich ab.

Gegenwärtig ist die Säkularänderung der Deklination, welche in Fig. 145 durch die eingeklammerten Zahlen in Minuten pro Jahr angegeben ist, fast überall negativ, d. h. die Deklination wird östlicher, sie nimmt also, absolut genommen, da, wo sie westlich ist, ab, dagegen dort, wo sie östlich ist, zu; nur in Amerika, dem südlichen Atlantic und Ost-Asien (besonders in der Enklave) nimmt  $\delta$  zu; ohne Säkularänderung sind gegenwärtig drei, in Fig. 145 gestrichelte Linien, eine nahe der Westküste Amerikas hinlaufende, eine zweite, welche den Nord-Atlantic durchschneidet und dann westlich von Afrika hinläuft, und eine dritte in Ost-Asien. Die stärkste Abnahme findet in Nordwest-Europa statt, nämlich um 12' jährlich, in Schottland beträgt sie 9, in Holland 8, in Deutschland 7, in Russland 5 bis 6; dabei wird diese Abnahme aber allmählich kleiner, sie betrug z. B. in Hamburg:

1856	1865	1873	1880	1885	1890
8·4'	8·0'	7·4'	7·0'	6·4'	5·2'.

Säkulare Inklinationsänderung. Sie ist wesentlich kleiner als die Aenderung der Deklination. Die parabolische Formel

$$\varphi = \varphi_0 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2$$

ergiebt folgende Werthe:

Ort	$\varphi_0$	$a$	$b$	$t_0$	Autor
Upsala . . . .	71° 0'0"	- 1·42	+ 0·051'	1869	SOLANDER
Wilhelmshafen .	68° 13'0"	- 1·44	+ 0·039'	1870·5	ESCHENHAGEN
Berlin . . . .	70° 19'5"	- 4·35	+ 0·021'	1800	ERMANN
Göttingen . . .	67° 1'0"	- 1·90	+ 0·016'	1860·6	KOHLRAUSCH
Greenwich . . .	67° 56'2"	- 2·02	- 0·005'	1868	NEUMAYER
München . . . .	64° 38'2"	- 2·52	- 0·007'	1857	"
Mailand . . . .	62° 11'0"	- 1·33	+ 0·022'	1880	CHISTONI
Venedig . . . .	61° 38'0"	- 1·90	+ 0·012'	1880	"
Washington . .	71° 38'0"	- 0·15	- 0·016'	1880	GEODETIC SURVEY
Melbourne . . .	-67° 6'0"	+ 0·08	+ 0·008'	1871·5	NEUMAYER

Hiernach würde die bisher ununterbrochene Abnahme von  $\varphi$  im nächsten Jahrhundert ihr Ende erreichen, und zwar für Berlin etwa 1902 mit 66° 38', für Göttingen 1935 mit 65° 50'. Welche Werthe  $\varphi$  im Laufe der Zeiten angenommen hat und wie gross dabei die jährliche Aenderung gewesen ist, möge das Beispiel von Paris zeigen:

Jahr	$\varphi$	jährliche Aenderung	Jahr	$\varphi$	jährliche Aenderung
1671	75° 0'	1·8'	1825	68° 0'	3·3'
1780	71° 48'	6·0'	1831	67° 40'	4·0'
1806	69° 12'	4·5'	1835	67° 24'	2·5'
1814	68° 36'	2·7'	1858	66° 26'	2·4'
1820	68° 20'	4·0'	1885	65° 20'	—

Die Inklination hat also ununterbrochen abgenommen, ohne dass jedoch in dem Verlauf dieser Abnahme ein Gesetz zu erkennen wäre; im Durchschnitt beträgt die jährliche Abnahme 2·7', was auch heute noch etwa stimmt.

Die Inklination nimmt gegenwärtig fast überall ab, in Deutschland um 1 bis 2', ebenso in Grossbritannien, in Frankreich, Italien und Oesterreich-Ungarn um 1 bis 3', die Abnahme ist aber geringer, als sie noch vor kurzem war (z. B. in Grossbritannien 1837 bis 1857 1·6 bis 2·7', dagegen 1857 bis 1888 0·9 bis 1·9'); auch im westlichen Russland nimmt  $\varphi$  ab, ferner in Afrika (bis zu 5') und in den Vereinigten Staaten (um 2·5 bis 7·5'). Dagegen findet in Australien und im mittleren Russland gar keine Aenderung, in Ost-Russland eine kleine und in Asien eine etwas grössere Zunahme statt. Eine Linie ohne Inklinationsänderung geht von den Aleuten nach Kalifornien, West-Indien, Brasilien und dem nördlichen Atlantic, eine zweite durch das europäische Russland. Was endlich den magnetischen Aequator betrifft, so haben sich dessen Schnittpunkte mit dem geographischen Aequator sehr beträchtlich verschoben, der eine von ihnen lag z. B. 1700 unter 35° östl. L., 1780 unter 20° östl. L., jetzt liegt er unter 10° westl. L., er ist also jährlich etwa 15' westwärts gewandert.

Säkular-Aenderung der Horizontalintensität. Die parabolische Formel

$$H = H_0 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2$$

liefert folgende Werthe:

Ort	100000 $H_0$	100000 $a$	1000000 $b$	$t_0$	Autor
Berlin . . . .	17594	— 8	2	1800	ERMANN
Göttingen . . .	18497	+ 35	3	1870	KOHLRAUSCH
Greenwich . . .	17694	+ 16	5	1864	NEUMAYER
Prag . . . . .	19264	+ 22	1	1865	„
Wien . . . . .	20090	+ 57	3	1865	„
München . . . .	19694	+ 26	1	1857	„
Venedig . . . .	21370	+ 17	— 1	1880	CHISTONI
Toronto . . . .	16145	— 15	8	1856	NEUMAYER
Melbourne . . .	23630	— 6	0	1871·5	„

Das Berliner Minimum fiel hiernach in das Jahr 1816 und betrug 0·1753, das Göttinger nach KOHLRAUSCH in 1817 mit 0·1756, während nach SCHERING die entsprechenden Zahlen 1823 und 0·1767 sind und ein Maximum für 1898 mit 0·1876 zu erwarten ist. Allgemein sind, wie man sieht, die Aenderungen von  $H$  keine erheblichen, sie messen nach Hunderttausendteln der absoluten Einheit und betragen in Deutschland deren 12 bis 23, ebenso in Oesterreich, in Italien etwas mehr, in Frankreich (1848 bis 1885) 22 bis 28, neuerdings aber nur 17 bis 19, woraus hervorgeht, dass die Zunahme kleiner und kleiner wird, in Grossbritannien 18 bis 22, in Russland ist sie sehr klein und geht im östlichen sogar in eine Abnahme über, welche in Sibirien bis zu —30 ansteigt, während das südliche Asien wieder eine Zunahme hat. Ferner nimmt  $H$  in West-Afrika zu, in Ost-Afrika und Australien ab, in Nordost-Amerika zu, im ganzen übrigen Amerika dagegen ab, und zwar in Süd-Amerika bis zu —80. Eine Linie ohne Aenderung, die aber in einzelnen Theilen prekär und vielleicht nur ephemer ist, geht von 50° nördl. B. und 120° westl. L. quer durch Nord-Amerika zwischen Bahama und Bermuda-Inseln nach Cap Verde, Zanzibar, den kleinen Sunda-Inseln und schliesslich hinauf nach Nord-Amerika.

Säkular-Aenderung der Totalintensität. Sie lässt sich offenbar durch Combination der Aenderungen der Inklination mit den Aenderungen der Horizontalintensität ableiten. Aus

folgt nämlich

$$H = R \cos \varphi$$

also

$$dH = -R \sin \varphi d\varphi + \cos \varphi dR,$$

$$dR = \frac{dH + R \sin \varphi d\varphi}{\cos \varphi}.$$

Nun haben nach dem Obigen  $dH$  und  $d\varphi$  entgegengesetzte Vorzeichen; es wird also  $dR$  desto kleiner ausfallen, je näher die beiden Glieder des Zählers ihrem absoluten Betrage nach einander kommen; und wenn sie sogar einander gleich werden, so wird  $dR = 0$ . Näherungsweise ist dies nun vielfach der Fall;

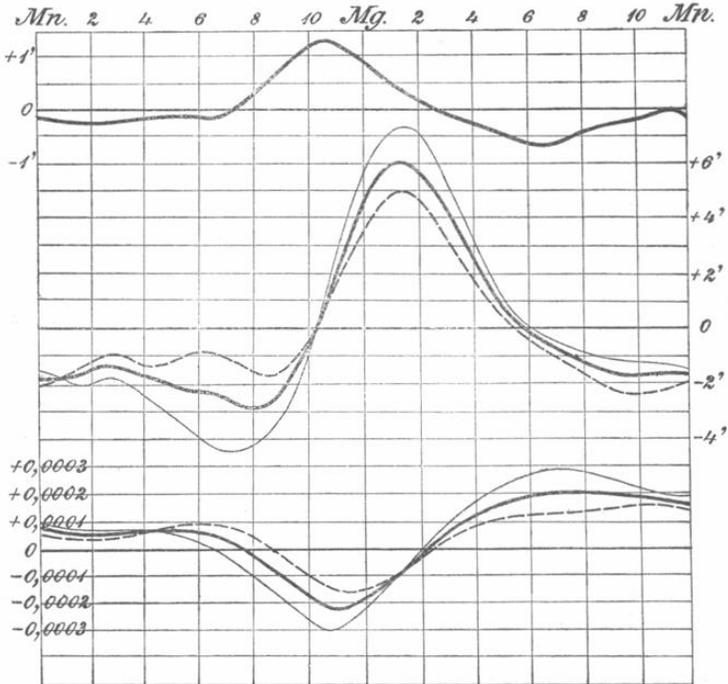
im mittleren Deutschland z. B. hat man einerseits  $R = 0.47$ ,  $\varphi = 66^\circ$ , also  $\sin \varphi = 0.91$ ,  $d\varphi$ , absolut genommen, gleich  $1.5'$ , also im Bogenmaass

$0.00044$ , und somit das zweite Glied gleich  $0.00019$ , andererseits aber  $dH$  ebenfalls gleich  $0.00019$ , die Totalintensität bleibt also im Wesentlichen unverändert.

Allgemein kann man sagen, dass die Säkular-Aen-

derungen der Totalintensität, wo und wann sie überhaupt existiren, weit kleiner sind als die der Horizontalintensität und der Inklination, oder gar als die der Deklination.

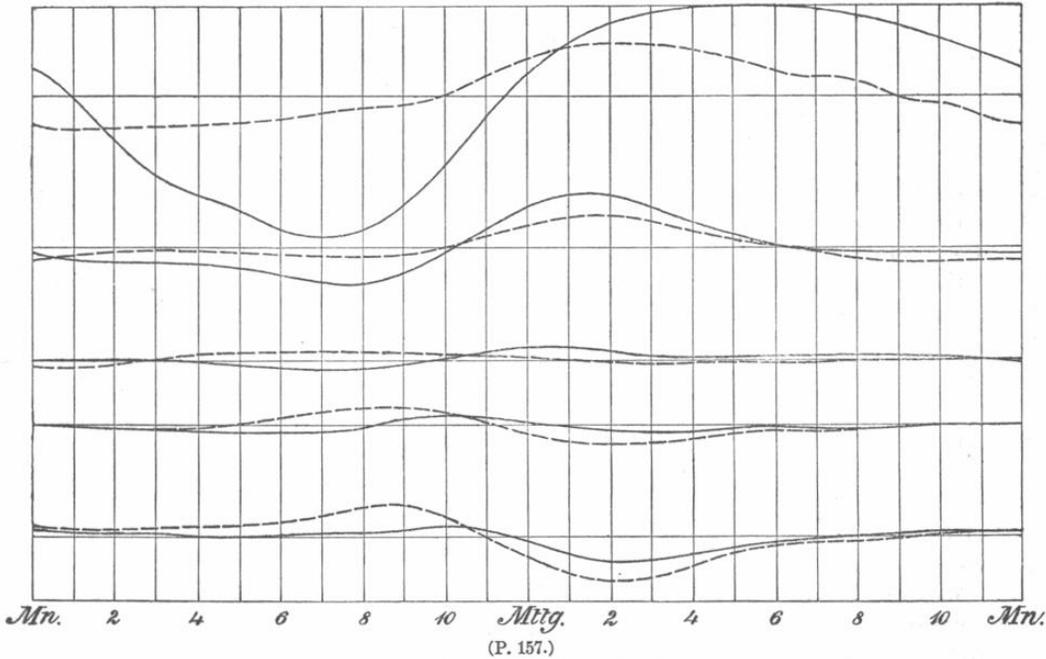
Tägliche Schwankungen. Sämmtliche erdmagnetische Elemente ändern ihre Werthe im Laufe des Tages. Am stärksten ist diese Aenderung auch hier wieder bei der Deklination, schwächer bei Inklination und Horizontalintensität, bei denen sie überdies einen entgegengesetzten Verlauf nimmt, und am schwächsten in Folge dessen bei der Totalintensität. In Fig. 156 ist der tägliche Gang von  $\delta$  (in der Mitte),  $\varphi$  (oben) und  $H$  (unten) für Wilhelmshaven nach einjährigem Mittel (1883) auf Grund der Angaben registrirender Instrumente dargestellt, die starken horizontalen Linien geben die Mittelwerthe, die starken Curven den täglichen Gang. Wie man sieht, variirt  $\delta$  um  $10'$ ,  $\varphi$  um  $2'$ ,  $H$  um  $0.0004$ . Das Maximum von  $\delta$ , also sein grösster westlicher Werth, fällt auf 1 bis 2 Uhr Nachmittags, das Minimum auf 8 Uhr Morgens; das Maximum von  $\varphi$  und das Minimum von  $H$  fallen auf 10—11 Uhr Vormittags, das Minimum von  $\varphi$  und das Maximum von  $H$  auf 7 bis 9 Uhr Abends. Bei allen Elementen sind die Aenderungen



(P. 156.)

am Tage stärker und gleichmässiger als in der Nacht, in welcher sich übrigens meist noch ein zweites, wenn auch sehr schwaches Maximum resp. Minimum vorfindet.

Wie sich die täglichen Schwankungen der Deklination in den verschiedenen Zonen gestalten, zeigt Fig. 157, deren fünf über einander liegende Darstellungen sich, von unten nach oben, auf die südliche gemässigte, südliche heisse, nördliche heisse, nördliche gemässigte und nördliche kalte Zone beziehen und welche, wenn von dem Unterschied der ausgezogenen und gestrichelten Linien zunächst abgesehen wird, erkennen lassen, dass die täglichen  $\delta$ -Schwankungen (Millimeter bedeuten Minuten) am Aequator am kleinsten sind und nach den Polen



hin immer grösser werden, sowie, dass sich dabei das Maximum immer mehr nach den Nachmittagsstunden verschiebt. In der obersten Darstellung bezieht sich die ausgezogene Linie auf die westliche, die gestrichelte auf die östliche Hälfte der Polarzone, und es hängt offenbar mit der Nähe des Magnetpols zusammen, dass jene eine noch grössere tägliche Schwankung aufweist als diese<sup>1)</sup>.

Noch ist die wichtige Thatsache anzuführen, dass die täglichen Schwankungen auch eine jährliche Periode besitzen, d. h. sie sind in den gemässigten und kalten Zonen im Sommer stärker als im Winter, und in den heissen Zonen ist sogar der Verlauf in den beiden Jahreshälften der entgegengesetzte. Es geht dies deutlich aus den Fig. 156 und 157 hervor, in denen (abgesehen von der schon erwähnten obersten Darstellung der Fig. 157) die schwach ausgezogenen Linien sich auf den Sommer, die gestrichelten auf den Winter beziehen. In Deutschland ist nach einer angestellten Berechnung das Verhältniss der täglichen Amplitude im Sommer zu derjenigen im Winter folgendes:

$\delta$	$\varphi$	$H$	$R$
1.72	1.82	2.27	2.63,

<sup>1)</sup> Zuweilen stellt man die täglichen Schwankungen von  $\delta$  und  $\varphi$  durch eine einzige Curve dar (Abscissen  $\delta$ , Ordinaten  $\varphi$ ), welche dann gewissermassen die Bewegung eines Endpunktes einer im Raume freien Nadel darstellt.

sodass man sagen kann, die tägliche Schwankung sei im Sommer etwa doppelt so gross wie im Winter. Die Relativzahlen für die einzelnen Monate sind noch vielfach mit grossen Unsicherheiten behaftet; als Beispiel mögen die Deklinationsschwankungen für Kiew dienen:

Januar . . 33	April . . 63	Juli . . . 59	October . 48
Februar . 41	Mai . . . 58	August . 60	November 40
März . . . 52	Juni . . . 60	September 56	December 32

Sehr merkwürdig ist schliesslich eine andere Ungleichheit, welche die tägliche  $\delta$ -Schwankung aufweist, und deren Periode und Phase mit derjenigen der Sonnenflecken übereinstimmt. Die folgenden Zahlen geben an, wie sich die tägliche Amplitude an Tagen maximaler Fleckenausbildung zu der an Tagen minimaler Ausbildung verhält.

Ort	Verhältniss	Autor
Paris . . . . .	1.71	CASSINI und ARAGO
Göttingen . . . . .	1.74	GAUSS
München . . . . .	1.66	LAMONT
Dublin . . . . .	1.52	LLOYD
Hobarttown . . . . .	1.57	KAY
Toronto . . . . .	1.51	YOUNGHUSBAND

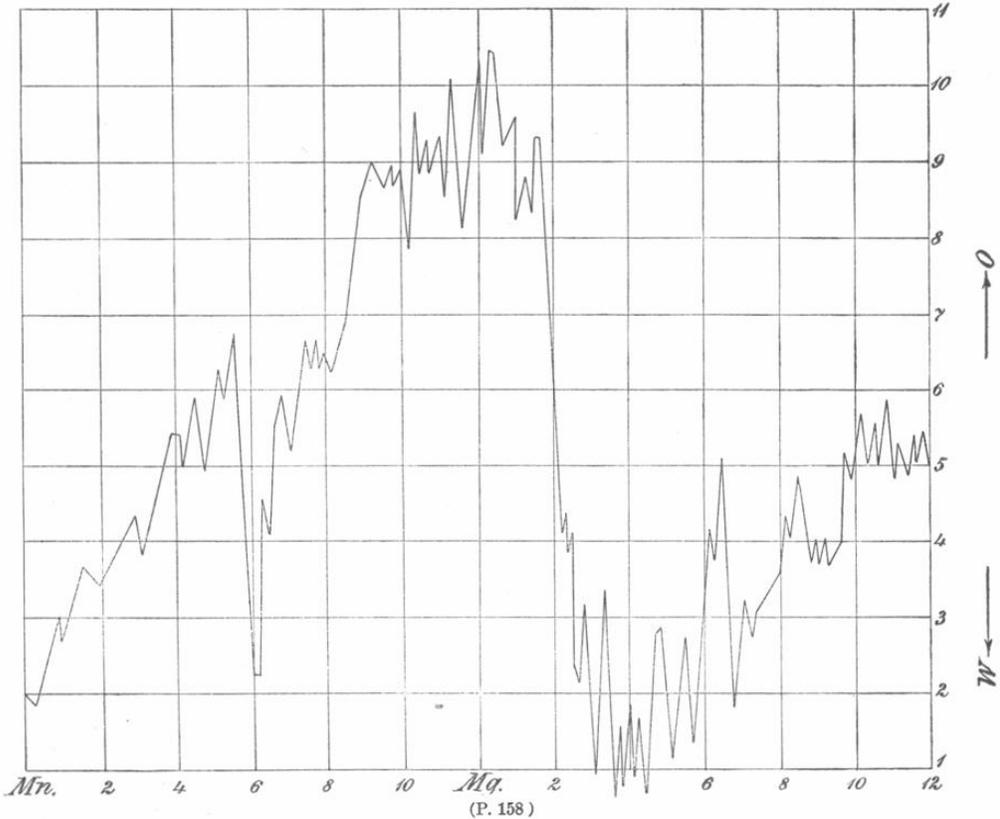
Das Verhältniss ist also rund das von 5:3; die Phasenübereinstimmung ist insofern keine vollständige, als die  $\delta$ -Amplitude der Häufigkeit der Sonnenflecke etwas nachhinkt.

Andere periodische Schwankungen. Ausser den säkularen und den täglichen Veränderungen der magnetischen Elemente sind noch mehrere andere vermuthet oder mit mehr oder weniger Sicherheit constatirt worden. Es genüge, sie kurz anzuführen: 1) Eine jährliche Periode von  $\delta$  ist in Russland jetzt festgestellt, das Maximum fällt in den Juni, das Minimum in den November oder December, die Differenz ist aber sehr geringfügig (rund 1'). 2) Eine halbjährige Periode mit den Aequinoctien und Solstitien als ausgezeichneten Punkten scheint stellenweise zu existiren. 3) In der Mondperiode fand SABINE für Toronto ein zweimaliges Maximum und Minimum mit den Amplituden 0.64' für  $\delta$ , 0.07' für  $\varphi$  und 0.0000012 für  $R$ . Auch KREIL glaubt neuerdings (Wiener Denkschr. Bd. 5) den Mondeinfluss auf  $H$  zweifellos festgestellt zu haben. 4) Eine 19jährige Periode der Intensität, übereinstimmend mit der Bewegung der Mondknoten, fand HANSTEN für Christiania. 5) Andere vielleicht vorhandene Perioden sind die 26tägige, die von HORNSTEIN (Wien. Ber. 1871, 15. Juni) gefunden wurde und fast genau der Sonnenrotation entspricht, die 11jährige (Sonnenflecke) und eine 40 bis 50jährige.

Magnetische Störungen. So nennt man plötzlich oder mindestens sehr rasch eintretende Veränderungen der magnetischen Elemente, insbesondere der Deklination. Sie markiren sich dadurch, dass die unter gewöhnlichen Umständen ruhige Magnetnadel sichtbar zu zittern anfängt und unter fortdauerndem Zittern ihre Richtung in kurzer Zeit, d. h. in einer oder wenigen Stunden zwischen oft sehr weiten Grenzen verändert. Besonders heftige Störungen, wie sie namentlich in hohen Breiten nicht zu den Seltenheiten gehören, bezeichnet man nach HUMBOLDT auch als magnetische Gewitter. Eine Darstellung eines solchen giebt Fig. 158, die sich auf die deutsche Polarstation Kingua fiord und den 15. November 1882 bezieht und eine  $\delta$ -Schwankung von über  $10^\circ$  innerhalb weniger Stunden erkennen lässt.

Geringere magnetische Störungen, die sich auf Bruchtheile eines Grades oder auf Minuten resp. auf kleine Bruchtheile von  $H$  beschränken, sind sehr häufig — so häufig, dass sie z. B. bei der Berechnung des täglichen Ganges der magnetischen Elemente störend wirken und WILD veranlasst haben, zwischen normalen und abnormen Tagen, d. h. Tagen ohne und mit Störungen zu unterscheiden, wobei alsdann für gewisse Zwecke die abnormen Tage von der Berücksichtigung auszuschliessen sind.

Die magnetischen Störungen, welche zuerst auf Anregung von GAUSS und WEBER durch den magnetischen Verein an 28 Stationen systematisch beobachtet



wurden, treten im Norden und Süden häufig ganz gleichzeitig auf, pflanzen sich dagegen von Westen nach Osten zeitlich fort, wobei sie, wenn sie nicht grösseren Betrages sind, ihren Einfluss oft wesentlich ändern, weil sie nach und nach auf verschiedene Tageszeiten fallen, und sich folglich in verschiedener Weise mit den täglichen Schwankungen combiniren. Der durchschnittliche Betrag der Störungen nimmt, wie gesagt, nach Norden zu, und es seien hierfür nach LAMONT folgende Relativzahlen angeführt:

Mailand . . . 1·0	Brüssel . . . 1·3	Dublin . . . 2·0
München . . . 1·1	Berlin . . . 1·5	Kopenhagen 2·2
Prag . . . 1·2	Breda . . . 1·6	Stockholm . 2·4
	Göttingen . 1·8	

Auch die magnetischen Störungen, so unregelmässigen Charakters sie sonst sind, lassen doch zeitliche Perioden erkennen. Sie sind nämlich am Tage

häufiger und auch meist stärker als in der Nacht, wobei noch zuweilen, z. B. in München, der Gegensatz auftritt, dass am Tage die  $\delta$ -Störung mehr nach Westen, in der Nacht mehr nach Osten erfolgt; im Sommer sind die Störungen meist heftiger als im Winter, und während der Aequinoctien und des Sommer-Solstitiums sind sie oft am heftigsten. Zweifellos ist endlich der Parallelismus zwischen den magnetischen Störungen und den Sonnenflecken, sie treten beide in 11-jährigen Perioden häufiger resp. seltener auf, und zwar derart, dass die magnetischen Störungen den Sonnenflecken meist etwas nachhinken.

### Theorie des Erdmagnetismus.

Die erdmagnetischen Erscheinungen regen die Frage an, was für Kräfte man sich als ihre Ursache, und wo man sich den Sitz dieser Kräfte zu denken habe. Was zunächst die letztere Frage betrifft, so sind zwei generelle Möglichkeiten: jene Kräfte haben ihren Sitz ausserhalb oder innerhalb der Erde. Dass das erstere der Fall sei, ist schon deshalb nicht anzunehmen, weil die Erscheinungen sonst in hohem Grade von der Erddrehung abhängen müssten, während in Wahrheit die täglichen Schwankungen nur ganz kleine Bruchtheile der Elemente betreffen; und dann, weil bei der grossen Entfernung der Himmelskörper die Wirkung keine so gewaltige sein könnte, wie sie thatsächlich beobachtet wird. Es könnten derartige Wirkungen keine direkten, sondern nur indirekte sein, und sie können nicht die HAUPTerscheinungen, sondern nur deren Variabilität berühren, wovon noch die Rede sein wird. Auch die Lufthülle, welche die Erde umgiebt, und deren Sauerstoff allerdings magnetische Eigenschaften besitzt, hat jedenfalls nicht entfernt die Bedeutung für unsere Theorie, welche ihr FARADAY<sup>1)</sup> zuschrieb. Es ist also die Erde selbst als Sitz der Vorgänge, welche die beobachteten Erscheinungen veranlassen, anzusehen, und es fragt sich nur noch, ob man dabei an die Oberflächenschichten oder an das tiefere Innere zu denken habe. Aus den Erscheinungen an der Erdoberfläche und über derselben kann man das bekanntlich nicht entscheiden, da es für diese nach GAUSS stets eine Oberflächenvertheilung des wirkenden Agens giebt, welche einer inneren Vertheilung äquivalent ist (vergl. Art. Magnetismus, pag. 39), und es kann daher auch aus den oben erwähnten Messungen in verschiedenen Höhen nicht, wie Einige gemeint haben, auf eine grosse Tiefe der wirkenden Massen unter der Oberfläche geschlossen werden. Die Beschaffenheit der oberflächlichen Erdschichten aber, in denen wirksame Materialien nur sehr schwach und überaus sporadisch vorkommen, verweist auf das Erdinnere, welches ohnehin, nach den ermittelten Werthen der Dichte, als aus anderen, schwereren Stoffen bestehend angesehen werden muss.

Von älteren Versuchen, den Sitz von, die erdmagnetischen Erscheinungen quantitativ ergebenden, Magneten zu ermitteln, seien hier nur diejenigen von TOBIAS MAYER<sup>2)</sup>, auf die auch HUMBOLDT wieder zurückkam, und von HANSTEEN<sup>3)</sup> erwähnt. Jener nahm einen einzigen, wenig ausgedehnten, aber sehr kräftigen Magneten im Mittelpunkte der Erde an, dieser deren zwei von unsymmetrischer Lage gegenüber der Aequatorialebene; beide Annahmen vermögen nur sehr roh die Thatsachen darzustellen, und selbst wenn sie es besser vermöchten, würden sie doch nicht den Charakter willkürlicher Darstellungen verlieren.

1) FARADAY, Exp. Unt. üb. Elektr. Bd. I.

2) Vergl. BIOT, Traité de phys. 1816, Vol. 3, pag. 139. — AIRY, über den Magnetismus, pag. 78.

3) HANSTEEN, Unters. üb. den Magnetismus der Erde. Christiania 1816.

GAUSS'sche Theorie. Von derartigen Willkürlichkeiten völlig frei ist die Theorie von GAUSS, welche in einer der klassischsten und bedeutsamsten Abhandlungen aus dem Gebiete der mathematischen Physik niedergelegt ist<sup>1)</sup>. Sie geht lediglich von der Annahme aus, dass die in Rede stehenden Wirkungen im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernungen stattfinden, und dass es folglich ein erdmagnetisches Potential giebt, dessen allgemeine Darstellung der wesentliche Theil des Problems ist. Die Umgebung der Erde, und insbesondere der Raum, wo wir unsere erdmagnetischen Beobachtungen anstellen, ist das erdmagnetische Feld, es ist durchsetzt von den Flächen gleichen Potentials, und die Schnitte dieser Flächen mit der Erdoberfläche sind die Niveaulinien oder magnetischen Gleichgewichtslinien; auf ihnen stehen die Kraftlinien oder magnetischen Meridiane senkrecht. Die Schnittlinie der Fläche vom Potential Null mit der Erdoberfläche ist der magnetische Aequator, oben (pag. 117) im Gegensatz zu der in der Praxis meist sogenannten Linie (dem Inklinationsäquator) als Potentialäquator bezeichnet. Ein Punkt, in welchem eine Niveaulinie die Erdoberfläche berührt, wo also das Potential auf dieser ein Maximum oder Minimum und die Kraft vertikal gerichtet ist, ist ein magnetischer Pol, und es könnte vom theoretischen Standpunkte aus natürlich viele solche Pole geben, wobei dann die eigenthümliche Erscheinung eintreten würde, dass zwischen zwei gleichnamigen Polen immer noch ein Punkt liegen würde, in welchem (vergl. Art. »Magnetismus«) das Potential in einer Richtung ein Maximum, in der darauf senkrechten ein Minimum wäre, und den man als »falschen Pol« bezeichnen könnte. Thatsächlich sind derartige Fälle nicht, wie man früher auf Grund ungenauer Kenntnisse vielfach annahm, verwirklicht; die Erde besitzt vielmehr, von ganz lokalen Erscheinungen abgesehen, nur einen Nordpol und einen Südpol ihres Magnetismus.

Nennt man das erdmagnetische Potential  $V$ , die Kraft  $R$  und ihre Componenten nach Norden, nach Westen und nach dem Zenith  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , so hat man die Formeln:

$$X = \frac{\partial V}{\partial x}, \quad Y = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial V}{\partial z},$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad H = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

$$\text{tang } \delta = \frac{Y}{X}, \quad \varphi = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}.$$

Ferner ist die Aenderung des Potentials auf einer Curve, deren Element  $ds$  mit der Kraftrichtung den Winkel  $\vartheta$  einschliesst,

$$V - V_0 = \int R \cos \vartheta \, ds,$$

und speciell auf der Erdoberfläche, wenn man statt  $\vartheta$  den Winkel  $t$  des Elementes  $ds$  mit  $H$ , also  $\cos t = \cos \vartheta / \cos \varphi$  einführt und die Beziehung  $H = R \cos \varphi$  benutzt,

$$V - V_0 = \int H \cos t \, ds.$$

Von dem Wege ist dieses Integral hiernach unabhängig, und für einen geschlossenen Weg ist es Null. Wendet man dies auf ein Polygon, z. B. ein Dreieck an, so folgt, dass man, wenn man für die drei Eckpunkte die (mit  $t$  in einem leicht ersichtlichen Zusammenhange stehende) Deklination  $\delta$  und für zwei von ihnen  $H$  kennt,  $H$  für den dritten Eckpunkt berechnen kann — eine Berechnung, welche für das Dreieck Göttingen — Mailand — Paris zu einer sehr befriedigenden Uebereinstimmung mit der Beobachtung führt.

<sup>1)</sup> GAUSS, Allg. Theorie des Erdmagnetismus (1840), Werke, Bd. 5, pag. 119.

Auf der Erdoberfläche ist  $V$  eine Function der geographischen Länge  $\lambda$  und der Poldistanz (Complement der geographischen Breite)  $u$ . Für die genauere Untersuchung müsste man die Erde als Ellipsoid mit dem äquatorialen Radius  $a$  und der Excentricität  $\epsilon$  betrachten; die Formeln für  $X$  und  $Y$  würden alsdann lauten:

$$X = - \frac{[1 - \epsilon(2 - \epsilon) \cos u^2]^{3/2}}{(1 - \epsilon)^2} \frac{1}{a} \frac{\partial V}{\partial u},$$

$$Y = - \sqrt{1 - \epsilon(2 - \epsilon) \cos u^2} \frac{1}{a \sin u} \frac{\partial V}{\partial \lambda}.$$

Die erdmagnetischen Beobachtungen waren aber zu GAUSS' Zeit und sind zum Theil auch heute noch nicht annähernd so fein durchgeführt, dass es nicht genügte, die Erde als Kugel zu betrachten und folglich

$$X = - \frac{1}{a} \frac{\partial V}{\partial u}, \quad Y = - \frac{1}{a \sin u} \frac{\partial V}{\partial \lambda}$$

zu setzen. Zwischen  $X$  und  $Y$  besteht des weiteren die Beziehung

$$Y = \frac{1}{\sin u} \int_0^u \frac{\partial X}{\partial \lambda} d u,$$

woraus der merkwürdige Satz folgt, dass, wenn  $X$  für die ganze Erdoberfläche gegeben ist,  $Y$  und somit auch  $H$  berechnet werden kann; umgekehrt gilt der Satz nur mit der Modifikation, dass, wenn  $Y$  für die ganze Erdoberfläche und  $X$  für irgend einen Meridian gegeben ist,  $X$  und somit auch  $H$  für die ganze Erdoberfläche berechnet werden kann.

Die Darstellung von  $V$  erfolgt naturgemäss durch Kugelfunctionen. Sind  $P_0, P_1$  u. s. w. Functionen von  $\lambda$  und  $u$ , und ist  $r$  die Entfernung vom Erdmittelpunkt, so hat man

$$V = \frac{a^2 P_0}{r} + \frac{a^3 P_1}{r^2} + \dots,$$

wo jedoch  $P_0$  wegen der gleichen Stärke des positiven und negativen Magnetismus in Wegfall kommt; eine zweite nach positiven Potenzen von  $r$  steigende Reihe, welche hinzukommen würde, wenn nicht bloss innere, sondern auch äussere Massen wirksam wären, ist aus den obigen Gründen unterdrückt worden, und in der That erweist sich diese eine Reihe zur Darstellung der Haupterscheinungen als ausreichend.

Das Potential  $V$  genügt der Differentialgleichung  $\Delta V = 0$ , also in  $r \lambda u$  der Gleichung

$$r \frac{\partial^2 (r V)}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial u^2} + \cot g u \frac{\partial V}{\partial u} + \frac{1}{\sin^2 u} \frac{\partial^2 V}{\partial \lambda^2} = 0,$$

folglich muss allgemein  $P_n$  der Gleichung

$$n(n+1) P_n + \frac{\partial^2 P_n}{\partial u^2} + \cot g u \frac{\partial P_n}{\partial u} + \frac{1}{\sin^2 u} \frac{\partial^2 P_n}{\partial \lambda^2} = 0$$

genügen, d. h. die  $P_n$  sind Kugelfunctionen von der Form

$$P_n = g_{n,0} P_{n,0} + (g_{n,1} \cos \lambda + h_{n,1} \sin \lambda) P_{n,1} + \dots + (g_{n,n} \cos n \lambda + h_{n,n} \sin n \lambda) P_{n,n},$$

wo die  $g$  und  $h$  Constanten und die  $P_{n,m}$  nur noch Functionen von  $u$  sind nämlich

$$P_{n,m} = \cos^{n-m} u - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \cos^{n-m-2} u$$

$$+ \frac{(n-m)(n-m-1)(n-m-2)(n-m-3)}{2 \cdot 4 \cdot (2n-1)(2n-3)} \cos^{n-m-4} u + \dots$$

Es ist also  $V$  für den ganzen Raum ermittelt, wenn die Constanten  $g$  und  $h$  bekannt sind. Da nun für die Oberfläche

$$\frac{V}{a} = P_1 + P_2 \dots$$

ist, hierin aber die  $g$  und  $h$  vorkommen und  $V$  für die Oberfläche bekannt ist, wenn z. B.  $X$  bekannt ist (s. ob.), so lässt sich die Bestimmung jener Constanten leisten, und das Problem ist gelöst. Schliesslich werden dann die Kraftcomponenten:

$$\begin{aligned} X &= -\frac{a^3}{r^3} \left( \frac{\partial P_1}{\partial u} + \frac{a}{r} \frac{\partial P_2}{\partial u} + \frac{a^2}{r^2} \frac{\partial P_3}{\partial u} + \dots \right), \\ Y &= -\frac{a^3}{r^3 \sin u} \left( \frac{\partial P_1}{\partial \lambda} + \frac{a}{r} \frac{\partial P_2}{\partial \lambda} + \frac{a^2}{r^2} \frac{\partial P_3}{\partial \lambda} + \dots \right), \\ Z &= \frac{a^3}{r^3} \left( 2P_1 + 3\frac{a}{r}P_2 + 4\frac{a^2}{r^2}P_3 + \dots \right), \end{aligned}$$

und speciell für die Erdoberfläche

$$\begin{aligned} X &= -\left( \frac{\partial P_1}{\partial u} + \frac{\partial P_2}{\partial u} + \dots \right), & Y &= -\frac{1}{\sin u} \left( \frac{\partial P_1}{\partial \lambda} + \frac{\partial P_2}{\partial \lambda} + \dots \right), \\ Z &= 2P_1 + 3P_2 + 4P_3 + \dots \end{aligned}$$

Hieraus folgen dann ohne weiteres die drei praktischen Grössen  $\delta\varphi H$ .

Die wirkliche Ausrechnung wird sich immerhin recht weitläufig gestalten, weil die Zahl der Glieder sehr gross ist. Es hat nämlich  $P_1$  drei,  $P_2$  fünf,  $P_3$  sieben,  $P_4$  neun Glieder; geht man also bis zu Grössen vierter Ordnung, so hat man schon 24 Constanten zu bestimmen, muss also, da jeder gegebene erdmagnetische Werth eine Gleichung liefert, mindestens für 8 Punkte der Erdoberfläche die beobachteten Werthe von  $\delta\varphi H$  resp. die daraus berechneten von  $XYZ$  zu Grunde legen, in Wahrheit aber, um die unvermeidlichen Fehler auf ein geringes Maass zurückzuführen, weit mehr Punkte. Um die Rechnung zu vereinfachen, nahm GAUSS als gegebene Punkte solche, welche auf Parallelkreisen in gleichen Abständen von einander liegen. Für jeden dieser Parallelkreise kann man dann die Entwicklung

$$\begin{aligned} X &= k + k_1 \cos \lambda + K_1 \sin \lambda + k_2 \cos 2\lambda + K_2 \sin 2\lambda + \dots \\ Y &= l + l_1 \cos \lambda + L_1 \sin \lambda + l_2 \cos 2\lambda + L_2 \sin 2\lambda + \dots \\ Z &= m + m_1 \cos \lambda + M_1 \sin \lambda + m_2 \cos 2\lambda + M_2 \sin 2\lambda + \dots \end{aligned}$$

bilden, erhält so viele Werthe der Constanten  $klm$  u. s. w., als Parallelkreise genommen wurden, und hat dann zur Bestimmung der  $g$  und  $h$  einfache Gleichungen, z. B. zur Bestimmung von  $g_{10}$ ,  $g_{20}$  u. s. w. die Gleichungen

$$\begin{aligned} k &= -g_{10} \frac{\partial P_{10}}{\partial u} - g_{20} \frac{\partial P_{20}}{\partial u} - \dots, \\ m &= 2g_{10} P_{10} + 3g_{20} P_{20} + \dots, \end{aligned}$$

während  $l = 0$  sein muss und dadurch eine Controlle liefert; ganz ähnliche Gleichungen hat man für die andern Coefficienten; und da die Zahl dieser Gleichungen in jedem Falle grösser ist als die der Coefficienten, kann man die Methode der kleinsten Quadrate benutzen.

GAUSS selbst hat die Rechnung für je 12 Punkte auf 7 Parallelkreisen durchgeführt, sie ist später wiederholt worden von ERMANN und PETERSEN<sup>1)</sup> für je 9 Punkte auf 10 Parallelkreisen, und zwar ebenfalls für die Epoche, auf welche

<sup>1)</sup> ERMANN und PETERSEN, Die Grundlagen der GAUSS'schen Theorie. Berlin 1874.

sich die GAUSS'sche Rechnung bezog (1830), dann von QUINTUS ICILIUS<sup>1)</sup> für je 12 Punkte auf 10 Kreisen und für das Jahr 1880, endlich von NEUMAYER für je 72 Punkte auf 25 Parallelkreisen (also im ganzen 1800 Erdoberflächenpunkte) und zwar für 1885. Die GAUSS'schen und die NEUMAYER'schen Zahlen<sup>2)</sup> folgen hier zum Vergleiche, wobei aber zu bemerken ist, dass die Differenzen, welche die Zahlen aufweisen, grossentheils auf die wirklichen Veränderungen, welche inzwischen in den erdmagnetischen Werthen stattgefunden haben, zurückzuführen sind und nur zum andern Theile der genaueren Berechnung entsprechen.

Constante	GAUSS	NEUMAYER	Constante	GAUSS	NEUMAYER
$g_{10}$	+ 0.3235	+ 0.3157	$g_{22}$	+ 0.0002	- 0.0057
$g_{20}$	- 0.0077	+ 0.0079	$g_{32}$	- 0.0256	- 0.0279
$g_{30}$	- 0.0066	- 0.0244	$g_{42}$	- 0.0160	- 0.0198
$g_{40}$	- 0.0380	- 0.0344	$h_{22}$	- 0.0136	- 0.0126
$g_{11}$	+ 0.0311	+ 0.0248	$h_{32}$	- 0.0080	- 0.0004
$g_{21}$	- 0.0506	- 0.0498	$h_{42}$	+ 0.0149	+ 0.0071
$g_{31}$	+ 0.0430	+ 0.0396	$g_{33}$	+ 0.0005	- 0.0033
$g_{41}$	- 0.0533	- 0.0306	$g_{43}$	+ 0.0069	+ 0.0068
$h_{11}$	- 0.0625	- 0.0603	$h_{33}$	- 0.0066	- 0.0055
$h_{21}$	- 0.0021	+ 0.0130	$h_{43}$	- 0.0001	+ 0.0051
$h_{31}$	+ 0.0167	+ 0.0074	$g_{44}$	- 0.0014	- 0.0008
$h_{41}$	+ 0.0224	- 0.0119	$h_{44}$	+ 0.0011	+ 0.0010

Auf höhere als die Glieder 4. Ordnung ist die Rechnung noch nicht fortgeführt worden.

Die vollständigen Werthe von  $V/a$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  lassen sich nun leicht hinschreiben, sie sind aber zu vielgliedrig, um hier Platz finden zu können. Das magnetische Moment der Erde ergibt sich aus der GAUSS'schen Rechnung zu  $0.33092 a^3$ , aus der NEUMAYER'schen zu  $0.32237 a^3$ , also um  $3\frac{1}{2}\%$  kleiner, wobei aber zweifelhaft bleibt, wieviel von dieser Differenz auf die Neuberechnung und wieviel auf eine wirklich eingetretene Abnahme kommt. Vergleicht man die Erde mit einem künstlichen Magneten, so kann man nach ERMAN und PETERSEN sagen: Die Erde würde aus 2700 Meilen Entfernung dieselbe Wirkung ausüben wie ein gut magnetisirter Stahlstab von 500  $gr$  Gewicht aus 1  $m$  Entfernung; oder auch: der Radius derjenigen mit der Erde concentrischen eisernen Kugel, welche, bis zur Sättigung magnetisirt, dieselbe Wirkung ausüben würde wie die Erde, beträgt 243  $km$ , also  $\frac{1}{8}$  des Erdradius. Nach GAUSS kann man auch sagen, dass bei gleichmässiger Vertheilung jedes Kubikmeter der Erde so stark magnetisch sein würde wie acht gut magnetisirte Pfundstäbe.

Als magnetische Axe der Erde, d. h. als Axe ihres grössten Moments (hierzu ist nur die Kenntniss der Glieder erster Ordnung von  $V$  erforderlich) ergibt sich nach NEUMAYER die Linie

von  $78^\circ 20'$  nördl. Br. und  $292^\circ 43'$  östl. L.

nach  $78^\circ 20'$  südl. Br. und  $112^\circ 43'$  östl. L.

sie ist natürlich ein Durchmesser der Erde, was von der Verbindungslinie der Pole (s. o.) nicht gilt.

Die Werthe von  $\delta$ ,  $\varphi$ ,  $H$ , welche GAUSS für zahlreiche Orte berechnet und mit den beobachteten zusammengestellt hat, weisen nur in einzelnen Fällen erhebliche Abweichungen auf, die zum Theil noch auf Rechnung der damals noch

<sup>1)</sup> v. QUINTUS ICILIUS, Arch. d. Seewarte 1881, No. 2.

<sup>2)</sup> Vergl. den Text zu BERGHAUS' Atlas.

nicht völlig exakten Beobachtungen kommen; bei  $\delta$  kommt einmal eine Differenz von  $5^\circ$ , einigemal eine von  $3^\circ$  vor, die übrigen sind kleiner; bei  $\varphi$  sind die höchsten Unterschiede  $4-5^\circ$ , bei  $H$  kommt einigemal eine Differenz von  $8\frac{1}{2}$  des Werthes vor, solche von  $3-6\frac{1}{2}$  sind ziemlich häufig. Bei der NEUMAYER'schen Berechnung sind die Differenzen, entsprechend der grösseren Anzahl von Grundpunkten, beträchtlich kleiner.

Endlich sei noch auf eine besondere Grösse hingewiesen, nämlich auf die Dichte der GAUSS'schen idealen Oberflächenvertheilung wirksamer Massen. Sie ist durch die Formel

$$D = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{V}{a} - 2Z \right) = - \frac{1}{4\pi} (3P_1 + 5P_2 + \dots)$$

gegeben, wo zur Reduction auf absolutes Maass noch mit  $0.000349$  zu multipliciren ist; sie hat nach GAUSS auf der nördlichen Halbkugel zwei, auf der südlichen aber nur ein Maximum (resp. Minimum). Auch diese Grösse kann man durch Curven gleicher Werthe zur Anschauung bringen und erhält dann den Gleichgewichtslinien ähnliche, aber meist stärker gekrümmte Curven.

**Einfluss der Land- und Wasservertheilung.** Wäre die Erde der Intensität und Richtung nach gleichförmig magnetisirt, so würden die magnetischen Erscheinungen auf der Oberfläche ein sehr einfaches Bild darbieten. Die magnetischen Meridiane würden grösste Kreise sein, die sich in zwei diametral entgegengesetzten Punkten schneiden würden, der magnetische Aequator würde ebenfalls ein grösster Kreis und die Isoklinen und die  $H$ -Isodynamen würden ihm parallele Kreise sein; das Potential endlich würde eine Kugelfunction ersten Grades sein. Wäre die Richtung der Magnetisirung überdies die der Erdaxe, so würden alle jene Punkte und Kreise mit den das Gradnetz der Erde bildenden zusammenfallen. Dass alledem nicht so ist, zeigen die magnetischen Karten und die GAUSS'sche Entwicklung des Potentialwerthes.

Es liegt nahe, den Ursachen dieser Thatsache nachzuforschen oder, um es zunächst bescheidener auszudrücken, sich nach Symptomen umzusehen, welche zur Erkenntnis jener Ursachen den Weg bahnen können. In der That ist der Magnetismus nicht das einzige Gebiet, auf dem die Erde sich von der Symmetrie der Verhältnisse entfernt. Ein Gebiet, wo dies in der augenfälligsten Weise hervortritt, ist die Vertheilung von Land und Wasser. Dass zwischen ihr und der Anordnung der magnetischen Linien ein gewisser Zusammenhang besteht, ist schon früher mehrfach bemerkt worden. So laufen manche Isogonen auf ziemlich langen Strecken der benachbarten Küstenlinie parallel (Japan, Süd-Amerika, West-Afrika). Isodynamen werden zuweilen von Küsten »abgelenkt«, und in der Nähe von Inseln (Island), sowie innerhalb geschlossener Meeresbecken (Ostsee, Schwarzes Meer) finden oft ganz beträchtliche Anomalien der magnetischen Elemente statt. Die bestimmte Vermuthung, dass hier ein quantitativer Zusammenhang vorliege, ausgesprochen und durch eine interessante Rechnung gestützt zu haben, ist das Verdienst MENZZER's<sup>1)</sup>, dem sich in neuester Zeit ESCHENHAGEN<sup>2)</sup> angeschlossen hat. Denkt man sich, dass die Continente die magnetischen Pole, die sonst mit den Erdpolen zusammenfallen würden, nach einem gewissen Gesetz »abgelenkt« haben, so kann man ihre Lage be-

<sup>1)</sup> MENZZER, POGG. Ann. Erg.-Bd. 5, pag. 592. 1871.

<sup>2)</sup> ESCHENHAGEN, PETERMANN's Geogr. Mitth. 1888, pag. 142.

rechnen. MENZZER findet auf diese Weise  $69^\circ$  nördl. Br. und  $90^\circ$  westl. L. für den Nordpol, resp.  $76^\circ$  südl. Br. und  $165^\circ$  östl. L. für den Südpol — Zahlen, deren Vergleichung mit den wahren immerhin zeigt, dass das Grundprincip der Berechnung nicht durchaus von der Hand zu weisen ist; insbesondere wird es verständlich, dass die Nordpole weiter aus einander liegen als die Südpole; und es sei ferner angeführt, dass der magnetische Nordpol dem »Schwerpunkte« des europäisch-asiatischen Continentes gerade gegenüber, d. h. auf demselben Meridiane jenseits des geographischen Nordpales liegt, während er in den Meridian des nordamerikanischen Schwerpunktes gerade hineinfällt.

**Einfluss der Bodengestaltung.** Ganz analog wie Continente im Vergleich zu Meeren, beeinflussen zuweilen auch Gebirgsstöcke und Gebirgszüge im Vergleich zu Ebenen oder Tiefländern den Erdmagnetismus. Man kann diesen Einfluss in verschiedener Weise zur Anschauung bringen; einmal durch die isomagnetischen Linien, besonders die Isogonen, die nicht selten mit Gebirgszügen parallel laufen resp. sie, statt sie zu durchbrechen, in weitem Bogen umgehen (z. B. in Japan), oder endlich im Innern ringförmiger Gebirge, z. B. in Siebenbürgen, eine Schleife bilden; noch deutlicher aber durch eine graphische Darstellung der erdmagnetischen Elemente, bei welcher eine ideale Profilinie auf der Erde die Abscisse, eines jener Elemente die Ordinate ist. Zeichnet man dann über jener Abscisse auch noch die Contur des wirklichen Profils, so findet man, wie z. B. LOCKE<sup>1)</sup> im Staate New-York (am Hudson), einen ganz analogen Verlauf beider Curven: wo der Boden eben verläuft, thut es die  $\varphi$ -Curve auch, wo jene ansteigt, erhebt sich diese ebenfalls u. s. w.

Man kann den geschilderten Einfluss der Continente und Gebirge als den grösserer Massenconcentration bezeichnen; in wie weit dabei eine Beziehung zu tektonisch-geologischen Verhältnissen stattfindet, wie NAUMANN<sup>2)</sup> annimmt, muss dahingestellt bleiben.

**Gebirgsmagnetismus.** In zahlreichen Fällen liegt nun aber die Ursache derartiger Einflüsse klar zu Tage: es ist der Magnetismus des die Oberflächen-erhebungen bildenden Gesteins. Dazu gehören z. B. Magnet Eisenstein, Magnetkies, Granit, Gabbro u. s. w. In der Nähe solcher Gebirge und Berge hat man schon längst Abweichungen der Nadel beobachtet, und nicht selten ganz gewaltige, z. B. eine fast völlige Umkehrung der Deklinationnadel, wobei oft ganz nahe bei einander gelegene Punkte die verschiedensten Richtungen und Intensitäten der magnetischen Kraft erkennen liessen; insbesondere hat sich auf den Gipfeln mancher Berge  $H$  wesentlich grösser als am Fusse derselben ergeben. Diese Erscheinung hat neuerdings O. E. MEYER<sup>3)</sup> systematisch untersucht und sich dabei auch mit den beiden Möglichkeiten beschäftigt, welche die Erscheinung verständlich machen können. Nach der einen liegen die magnetischen Axen der Felsmassen (von den einzelnen Steinen, die sich sehr verschieden verhalten können, abgesehen und nur das grosse Ganze betrachtet) horizontal, die Nordpole südlich, die Südpole nördlich, also entsprechend den Magnetpolen der Erde; nach der anderen fällt die vorherrschende Axenrichtung des Gebirgsmagnetismus mit der Inklinationsrichtung zusammen und zwar so, dass sich die

1) LOCKE, SMITHSONIN, Contrib. 3, pag. 1. 1852. Vergl. NAUMANN, D. Erschein. d. Erdmagnetismus, Stuttg. 1887, pag. 46.

2) NAUMANN, a. a. O. Der Darlegung dieser Beziehung ist das Buch gewidmet.

3) O. E. MEYER, Jahresb. d. schles. Ges. 1888, pag. 49. — Münch. Ber. 19, pag. 167. 1889. — WIED. Ann. 40, pag. 489. 1890.

Nordpole unten, die Südpole oben befinden, also (wie bei der Induction) umgekehrt wie bei der Erde. Beide Annahmen führen, wie man leicht sieht, zu der beobachteten Thatsache, sie führen aber andererseits auch zu gewissen entgegengesetzten Schlüssen, welche es ermöglichen, in jedem einzelnen Falle zu entscheiden, welche von beiden Vorstellungen die richtige ist. Nach der einen muss nämlich  $H$  am nördlichen und südlichen Fusse des Berges kleiner sein als auf dem Gipfel oder an seinem östlichen oder westlichen Abhang, nach der anderen findet ein so einfaches Gesetz nicht statt, es wird dann vielmehr jeder der gedachten  $H$ -Werthe hauptsächlich durch den magnetischen Zustand des unmittelbar unter dem Beobachtungsorte liegenden Gesteins bedingt sein. Beim Zobtenberg in Schlesien fanden sich z. B. folgende Relativzahlen:

Ort	östlich	südlich	Gipfel	westlich	nördlich
Gestein	Serpentin	Serpentin	Gabbro	Granit	Granit
$H$	1·004	0·988	1·014	1·013	1·020

Man hat sich also hier für die zweite Annahme zu entscheiden und — was mit unseren übrigen bezüglichen Kenntnissen übereinstimmt — anzunehmen, dass Gabbro und Granit stärker magnetisch sind als Serpentin. Auch für das Riesengebirge ist es wahrscheinlich, dass die Axe mit der Inklination zusammenfällt; und da für den Vesuv nach MELLONI, für amerikanische Berge nach LOCKE u. s. w. das Gleiche gilt, so dürfte der Gebirgsmagnetismus wohl überall im Grossen und Ganzen das gleiche Verhalten aufweisen.

Beziehungen zur Temperatur. Auch diese sind zahlreich und zum Theil so deutlich, dass man schon frühzeitig auf sie aufmerksam wurde. So ist die südliche Halbkugel einerseits kälter, andererseits stärker magnetisch, der Inklinationspol und die Intensitätspole (s. o. pag. 111 u. 114) fallen nahe mit den Kältepolen der Erde zusammen, der magnetische sowohl wie der Temperaturäquator liegen meist nördlich vom geographischen, und die Gestalt der Isodynamen weist vielfach auffallende Aehnlichkeiten mit den Isothermen auf, z. B. die skandinavische Ausbiegung nach Norden, die sibirische und nordamerikanische Einbiegung nach Süden u. s. w. In wie weit dieser Parallelismus zwischen Kälte und starkem Magnetismus auf irdischen oder ausserirdischen Verhältnissen beruht, kann gegenwärtig noch nicht entschieden werden. Unzweifelhaft aber ist der Sonneneinfluss auf die Variationen der magnetischen Elemente, zumal auf die täglichen; es sei nur daran erinnert, dass diese Schwankungen am Tage stärker als in der Nacht, im Sommer stärker als im Winter sind, und dass das Maximum von  $\delta$  nahezu mit dem der täglichen Temperatur zusammenfällt. Jedoch darf man nicht etwa annehmen, dass die Sonne einen direkt magnetischen Einfluss ausübe. Denn wenn auch die täglichen Schwankungen, selbst die der Deklination, sehr klein sind, so sind sie doch viel grösser, als sie sein könnten, wenn sie von dem Magnetismus der Sonne herrührten<sup>1)</sup>. Das Verhältniss der Sonnenwirkung  $S$  zur Erdwirkung ist nämlich unter den günstigsten Verhältnissen durch die Formel

$$\frac{S}{E} = \frac{1}{4} \frac{M_s}{M_e} \left( \frac{2r}{d} \right)^3$$

bestimmt, wo  $M_s$  und  $M_e$  die Magnetisirungsintensitäten von Sonne und Erde sind,  $r$  der Radius der Sonne und  $d$  ihr Abstand von der Erde ist; die Ausrechnung ergibt, wenn  $M_s = M_e$  gesetzt wird,  $S/E$  rund zu  $2 \times 10^{-7}$ , woraus ein Einfluss auf die Deklination im Betrage einer zwanzigstel Secunde, also eine

<sup>1)</sup> Vergl. MASCART u. JOUBERT, El. u. Magn. Bd. 1, pag. 391.

ganz unmerkliche Aenderung folgen würde, während sie thatsächlich oft 10 Minuten und mehr beträgt. Um eine solche zu erzeugen, müsste die Sonne 12000 mal so stark magnetisirt sein (wohl verstanden auf die Raumeinheit) wie die Erde, also stärker als wenn sie gänzlich aus bestmagnetisirtem Stahl bestände. Der Einfluss der Sonne ist also ein indirekter, und es liegt am nächsten, der Temperatur die vermittelnde Rolle zuzuschreiben. Schliesslich ist auch der Zusammenhang der magnetischen Schwankungen mit den Sonnenflecken (s. o.) jedenfalls nur ein indirekter.

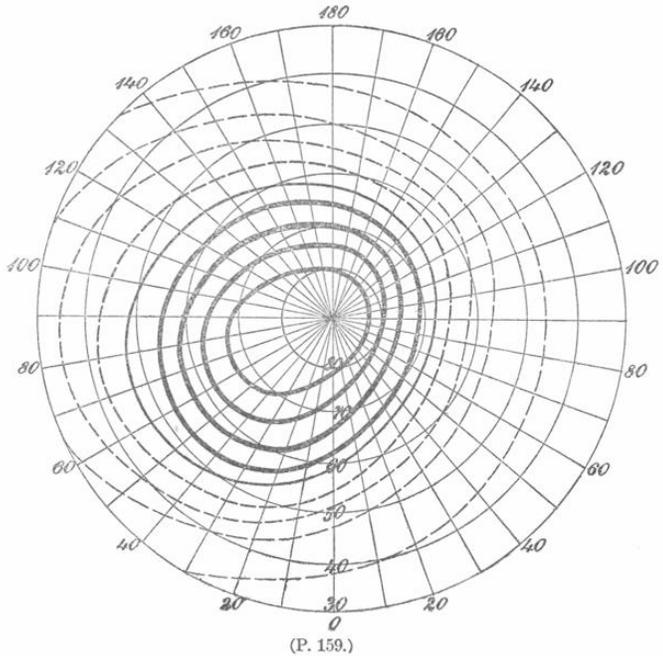
Magnetische oder elektrische Natur des Erdmagnetismus. Die magnetischen Kräfte, welche sich in den Erscheinungen des Erdmagnetismus bemerklich machen, können, wie bisher stillschweigend, resp. der Kürze des Ausdrucks halber angenommen wurde, von wirklichen Magneten, sie können aber auch von elektrischen Strömen ausgehen, und es tritt die dritte, die beiden ersten vermittelnde Möglichkeit hinzu, dass es sich um Elektromagnete handelt. Dass in der Erde so kräftige Stahlmagnete vorhanden seien, wie sie die Erscheinungen erfordern, ist wegen der Höhe der dort vermuthlich herrschenden Temperatur nicht wahrscheinlich. Elektrische Ströme spielen also jedenfalls die wesentliche Rolle; in wie weit sie jedoch direkt oder durch Vermittelung magnetisirter Eisenmassen wirken, von welcher Natur jene Ströme sind und welchen räumlichen Verlauf sie im Innern der Erde nehmen, gestatten unsere gegenwärtigen Kenntnisse nicht zu beantworten. Die zahlreichen Vermuthungen und Theorien, welche bezüglich dieser Punkte ausgesprochen und entwickelt worden sind, entbehren derjenigen Grundlagen und Ergebnisse, welche eine Entscheidung herbeiführen können. Manche haben dabei — mit Rücksicht auf die Rotation der Erde — an Convectionsströme, manche an Reibungsströme, noch andere an thermoelektrische Ströme gedacht, und vielfach ist auch die atmosphärische Elektrizität zum Verständniss mit herangezogen worden. Es kann hierauf nicht näher eingegangen werden, wohl aber müssen noch zwei Erscheinungen kurz angeführt werden, welche, ebenfalls elektrischer Natur, mit den erdmagnetischen Erscheinungen in innigem thatsächlichen Zusammenhange stehen, die Polarlichter und die Erdströme.

Polarlichter. In Bezug auf das Thatsächliche dieser Erscheinung muss auf die zahlreiche Literatur<sup>1)</sup> verwiesen werden; hier sei nur erwähnt, dass das Polarlicht eine meist sanfte, aber durch ihre Grösse und Mannigfaltigkeit imponirende Lichterscheinung ist, welche am nördlichen oder südlichen Himmel auftritt und deshalb auch Nordlicht bezw. Südlicht genannt wird. Ihre Beziehung zum Erdmagnetismus, die uns hier allein interessirt, ist eine durchgehende. Die geometrische Axe der Erscheinung, falls eine solche sich construiren lässt, stimmt mit der Richtung der Inklinationsnadel überein, die Ebene, in der sich die Erscheinung aufrollt, ist meist senkrecht zum magnetischen Meridian, und wenn die Strahlen des Lichtes hinreichend ausgebildet sind, so vereinigen sie sich nahe dem Punkte, nach welchem das obere Ende der freien Magneten zeigt. Das Auftreten des Lichtes fällt mit den magnetischen Störungen zusammen, wobei ein Parallelismus in der Intensität beider Erscheinungen stattfindet und fast stets selbst dann, wenn an einem Orte nur eine Störung, aber kein Licht auf-

<sup>1)</sup> Vergl. z. B. MUNCKE in GEHLER'S Wörterbuch Bd. 7, pag. 113. — FRITZ, das Polarlicht, Lpz. 1881. — LEMSTRÖM, Arch. de Gen. 54, 55 u. s. w. — UNTERWEGER, Wien. Denkschr. 1885. — Eine sehr übersichtliche Darstellung der Erscheinung und der Theorie giebt WEINSTEIN in: Himmel und Erde 1889/90, pag. 234 u. 360, 1890/91, pag. 101 u. 540.

tritt, geschlossen werden kann, dass letzteres irgendwo anders sichtbar geworden ist. Die Häufigkeit der Polarlichter endlich unterliegt bestimmten örtlichen und zeitlichen Gesetzen.

Die örtliche Häufigkeit ist wie die Totalintensität des Erdmagnetismus am Aequator am kleinsten und zwar gleich null, selbst noch bis zu  $10^\circ$  beiderseitiger Breite sind Polarlichter nicht beobachtet worden; nach Norden und Süden hin nimmt dann die Häufigkeit erst langsam, später rapide zu, erreicht aber schon weit vor den Polen das Maximum, um dann sehr rasch wieder abzunehmen. So sind beispielsweise in Italien durchschnittlich jährlich 0.1, in Deutschland 1—5, in Dänemark 10, in Schweden und Norwegen 20—100 Polarlichter zu sehen, in Spitzbergen aber wieder viel weniger; bei gleicher Breite haben ferner die amerikanischen Orte meist einen viel grösseren Reichthum an Polarlichtern als die europäischen oder gar die asiatischen, und in Labrador z. B. vergehen in manchen Jahren nur wenige Nächte ohne Polarlicht. Die Linien, welche Punkte verbinden, in denen durchschnittlich gleich viele Polarlichter im Jahre auftreten, heissen Isochasmen, sie sind in Fig. 159 dargestellt und verrathen eine ganz entschiedene Aehnlichkeit mit den



Isoklinen und Isodynamen. Die Linie grösster Häufigkeit geht durch Alaska, die Hudsonsbai, zwischen Island und Schottland hindurch, schneidet etwa das Nordcap und Nowaja Semlja und zieht sich dann nördlich der sibirischen Küste hin. Ein wenig nördlich von dieser Linie läuft ein anderer Streifen hin, welchen man die neutrale Zone nennt, und der die Eigenschaft hat, dass in ihm die Polarlichter ebenso oft als Nordlicht wie als Südlicht auftreten, südlich von ihr dagegen überwiegend (und weiter südlich ausschliesslich) als Nordlicht, nördlich von ihr überwiegend als Südlicht. Das Centrum der Isochasmen ist natürlich schwer zu bestimmen und es kann daher auch nicht als sicher gelten, dass es, wie NORDENSKJÖLD meint, eine nicht unbeträchtliche Entfernung vom magnetischen Pole habe.

In zeitlicher Hinsicht ist das Polarlicht eine Erscheinung mit zahlreichen Perioden, verhält sich also ebenfalls ganz wie der Erdmagnetismus. Die bisher am deutlichsten erkannten Perioden sind die 11jährige, die also mit der der Sonnenflecke und der magnetischen Störungen übereinstimmt, die jährige, wonach die Nordlichter im Winter entschieden häufiger sind als im Sommer, und die halbjährige, jedoch nur in mittleren Breiten deutlich ausgeprägte (grösste

Häufigkeit zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen, kleinste zur Zeit der Sonnenwenden). Die wichtigste zeitliche Eigenthümlichkeit der Polarlichter ist und bleibt aber ihr Zusammentreffen mit den magnetischen Störungen. Bei der grossen Unwahrscheinlichkeit, dass diesen Störungen wirklich so gewaltige plötzliche Aenderungen des Erdmagnetismus zu Grunde liegen, kommt man leicht zu dem Schlusse, dass vielmehr die Polarlichter (gemeinschaftlich mit den Erdströmen, s. w. u.) sie hervorrufen, oder mindestens, dass ihnen eine gemeinsame Entstehungsursache zukommt.

Dass das Polarlicht eine elektrische Erscheinung ist, wird gegenwärtig wohl kaum noch bezweifelt. Wie man sich aber die bezüglichen elektrischen Vorgänge genetisch und thatsächlich vorzustellen habe, darüber gehen die Ansichten noch weit auseinander; und da sichere Anhaltspunkte fehlen, so kann man höchstens der einen oder der andern dieser Ansichten mehr Wahrscheinlichkeit zusprechen und die Gründe hierfür entwickeln. So ist als Ursprungsort der Electricität bald das Erdinnere, bald die Erdoberfläche, speciell die Meeresoberfläche, bald die Atmosphäre, bald endlich die Sonne bezeichnet worden, und gerade die letztgenannte, von SIEMENS herrührende Hypothese, erfreut sich gegenwärtig mit Recht grosser Beliebtheit. Für die hierbei anzunehmende Uebertragung von Electricität von der Sonne auf die Erde wird neuerdings sogar noch eine weitere, längst bekannte Erscheinung am Himmel herangezogen, nämlich das Zodiakallicht. Zuzugeben ist jedenfalls, dass die oben angedeutete Uebereinstimmung in der Periodicität von Sonnenvorgängen einerseits und erdmagnetischen und Polarlicht-Erscheinungen andererseits der SIEMENSschen Annahme eine starke Stütze verleiht.

Was andererseits die Natur des eigentlichen Vorganges betrifft, so hat man bisher vorzugsweise an Entladungen zwischen der Erde und den höheren Schichten gedacht; von bestimmten Theorien dürften hierbei die von EDLUND und LEMSTRÖM, die sich nur durch einen gewissen Gegensatz in der Richtung der sich abspielenden Prozesse unterscheiden, ein besonderes Interesse beanspruchen, zumal da es dem Letzteren gelungen ist, in Lappland durch geeignete Vorrichtungen künstliche Nordlichter in grösserem Maassstabe zu erzeugen. Hiernach ist die Luft zwar in den unteren Schichten der Atmosphäre ein Isolator, in den oberen aber ein Leiter, so dass man sich gewissermassen die Erdkugel von einer durch eine isolirende Luftschale von ihr getrennten leitenden Luftschale umgeben denken kann; die Kugel und diese letztere Schale sind häufig oder stets entgegengesetzt geladen, und der Austausch von Electricität, welcher bei gewisser Spannung zwischen ihnen erfolgt, kann zweierlei Formen annehmen: die gewaltsame, das sind die Gewitter, und die sanfte, das sind die Polarlichter — Entladungsformen, welche auch sonst bekannt genug sind; in mässigen Breiten wird die eine, in hohen die andere Form häufiger sein; jene hat keinen merklichen, diese dagegen einen beträchtlichen Einfluss auf die Magnetnadel. — Mit Recht hat WEINSTEIN die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, dass es sich bei den Polarlichtern, statt um Entladungen, auch um wirkliche, in der Atmosphäre in sich selbst geschlossene elektrische Ströme handeln kann, deren Richtung dann nicht mit den Strahlen, sondern mit den darauf senkrechten Bögen der Lichterscheinung zusammenfallen würde, eine Auffassung, welche manche Beziehungen weit besser verständlich machen würde als die obige, und welche die Polarlichter in vollständigen Parallelismus mit dem nun zu erwähnenden Phänomen der Erdströme bringen würde.

Erdströme. Bald nachdem sich herausgestellt hatte, dass es zum Telegraphiren mittelst elektrischer Ströme eines Rückleitungsdrahtes nicht bedarf, dass vielmehr die Erde selbst diese Rückleitung übernimmt, wurde die Frage aufgeworfen, ob nicht auch spontan in der Erde Ströme entstehen, und schon BARLOW konnte diese Frage im bejahenden Sinne entscheiden, indem er einen Erdstrom nachwies<sup>1)</sup>. Die erste eingehende Untersuchung über diesen Gegenstand stellte LAMONT<sup>2)</sup> an, es folgten dann zahlreiche weitere Experimentalkreihen. Wenn trotzdem aus diesen Beobachtungen keine brauchbaren allgemeinen Resultate zu ziehen sind, liegt das an der Complication der Erscheinung und den störenden Nebeneinflüssen. Namentlich sind Temperatureinflüsse, die Contactdifferenz der Erdplatten, zwischen denen der Strom circulirt, ihre Verbindung mit der Erde, der sogen. Plattenstrom, die Polarisation, die atmosphärische Elektrizität u. s. w. von wesentlicher Bedeutung. Erst neuerdings hat man es mehr oder weniger verstanden, geeignete Anordnungen zu treffen, um aus der am Galvanometer oder dem es ersetzenden Beobachtungsinstrumente gemachten Ableseung zuverlässige Schlüsse auf die Vorgänge in der Erde ziehen zu können. In dieser Hinsicht sind namentlich die Untersuchungen von SCHERING<sup>3)</sup>, WEINSTEIN<sup>4)</sup>, der deutschen Telegraphendirection<sup>5)</sup>, dem Observatorium in Kew<sup>6)</sup>, endlich von BRANDER<sup>7)</sup> in Finnland und BATTELLI<sup>8)</sup> in Italien zu nennen. Dass fast ununterbrochen Erdströme existiren, ist hiernach zweifellos; sie halten sich aber meist in mässigen Intensitätsgrenzen. Von regelmässigen Perioden, in Bezug auf welche die Beobachter sich aber zum Theil widersprechen, sei die halbjährige (nach TROMHOLT, Maxima und Minima zur Zeit der Gleichen und Sonnenwenden, also wie beim Nordlicht) und die tägliche (Nachts stärker als Tags, nach TROMHOLT u. A. jedoch das Maximum zwischen 8 und 9 Uhr Morgens) erwähnt. Zuweilen treten ungewöhnlich starke Erdströme auf, in der Woche vom 28. August bis 4. September 1859 waren sie z. B. so stark, dass in Deutschland 100 Elemente nicht zur Compensation ausreichten. Zu solchen Zeiten finden dann fast stets auch magnetische Störungen statt, und von besonderem Interesse ist dabei die namentlich von BATTELLI constatirte Thatsache, dass die Erdströme resp. ihre Variationen den Störungen fast stets, wenn auch meist nur um einige Minuten, vorangehen. Es ist hieraus mit einiger Wahrscheinlichkeit zu schliessen, dass die Erdströme, ähnlich wie die Polarlichter, und vermuthlich in noch höherem Maasse als diese, bei der Hervorrufung der magnetischen Störungen betheiligt sind. Die vorwiegende Richtung der Erdströme ist in verschiedenen Gegenden eine sehr verschiedene, bald nähert sie sich mehr dem Meridian, bald mehr dem Parallelkreis, ein Verhalten, welches dem der magnetischen Kraftlinien ebenfalls entsprechend ist.

Werfen wir zum Schluss einen Blick auf die Gesammtheit des Problems, so können wir uns etwa folgende, freilich in vielen Punkten zweifelhafte oder willkürliche Vorstellung machen: Die Erde erhält, falls sie nicht etwa schon von vornherein freie Elektrizität besitzt, solche von der Sonne, vielleicht durch

1) Die ältere Literatur sehe man bei GÜNTHER, Lehrb. d. Geophysik II, pag. 9.

2) LAMONT, Der Erdstrom u. s. w. Lpz. 1862.

3) SCHERING, Beob. an Erdströmen. Göttingen 1884.

4) WEINSTEIN, El. Zeitschr. 1884 u. folg. (an vielen Stellen).

5) Berl. Sitz.-Ber. 1886, pag. 787.

6) Die Erdströme werden dort schon seit längerer Zeit photographisch registrirt.

7) BRANDER, Ac. Abh. Helsingfors 1888.

8) BATTELLI, Ann. Uff. Centr. di Meteor. (4) 9, pag. I. 1889.

Vermittelung des im Zodiakallicht sichtbaren Mediums, zugesandt. Diese Electricität bildet, etwa in Folge ungleicher täglicher Drehungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Schichten im Innern und an der Oberfläche der Erde, sowie durch diese Drehung selbst, elektrische Ströme. Diese wiederum magnetisiren aus entsprechenden Gründen die weichen Eisenmassen im Innern der Erde und erzeugen auf diese Weise den Erdmagnetismus, wobei jedenfalls auch der permanente Magnetismus mitwirkt, den ein Theil dieser Eisenmassen im Laufe der Zeit erhalten hat. Die Thätigkeit der Sonne ist nun aber quantitativem Wechsel unterworfen, und auch die relativen Erdbewegungen treten bald schwächer, bald stärker auf (Erdbeben, grosse Fluthen, Stürme u. s. w.); die Folge hiervon sind zeitweilige Erscheinungen besonders ausgeprägten Charakters, die Erdströme im Erdinnern, die Polarlichter (und zum Theil auch die Gewitter) in der Erdhülle; diese ihrerseits wiederum, sowie die erstgenannten Ursachen direkt rufen die magnetischen Störungen hervor. In wie weit hierbei, sowie bei den allmählichen Aenderungen der magnetischen Elemente, die in der Sonne oder die im Erdinnern liegende Ursache von stärkerem und ursprünglicherem Einflusse ist, lässt sich gegenwärtig nicht entscheiden.

F. AUERBACH.

---

## Magnetische Induction.

---

Einleitung. Die beiden fundamentalen Erscheinungen im Gebiete des Magnetismus sind die Bewegung, also die Aenderung des Ortes unter dem Einflusse magnetischer Kräfte (Anziehung und Abstossung, Ablenkung und Schwingung einer Magnetnadel u. s. w.) und die Aenderung des magnetischen Zustandes, speciell das Magnetischwerden unter dem Einflusse magnetischer Kräfte; jene Wirkung kann man als ponderomotorische, diese als magnetomotorische oder magnetisirende Wirkung bezeichnen; man nennt die bezüglichen Erscheinungen gegenwärtig allgemein magnetische Induction (s. o. pag. 48). Die Gesetze der magnetischen Bewegung sind bereits im Art. »Magnetismus« angegeben worden, der Theorie der magnetischen Induction ist der vorliegende Artikel gewidmet.

Allgemeine Bedeutung der Untersuchung. Die Theorie der magnetischen Induction würde sehr einfach sein, wenn der Magnetismus, welcher in jedem Theile des inducirbaren Körpers entsteht, nur von äusseren inducirenden Kräften herrührte. Thatsächlich kommt aber noch eine andere Kraft hinzu, welche von den übrigen, ebenfalls magnetisch gewordenen Theilen des inducirten Körpers herrührt und sich aus entsprechend vielen einzelnen Kräften zusammensetzt. Ein Theil dieser einzelnen Kräfte wird die äusseren Kräfte unterstützen, ein anderer Theil ihnen entgegenwirken, und der Antheil der unterstützenden und der entgegenwirkenden Kräfte wird ganz wesentlich von der Gestalt des Körpers abhängen. Die Folge wird die sein, dass die Stärke des magnetischen Zustandes nicht nur von der Stärke der äusseren Kräfte, vom Material des inducirten Körpers und von der Zahl seiner Theilchen, also von seinem Volumen, abhängen wird, sondern auch von seiner Gestalt, dass also der Coëfficient (oder wenn es mehrere sind, die Coëfficienten), welcher den Magnetismus mit der äusseren Kraft verknüpft, nur die beschränkte Bedeutung eines Magnetisirungs-