

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. 

~~26~~

hen

Erdmagnetismus,
Erdstrom
und Polarlicht

von

Dr. A. Nippoldt jun.

Mit 3 Tafeln u. 14 Fig.

Sammlung Götschen

Unser heutiges Wissen
in kurzen, klaren,
allgemeinverständlichen
Einzeldarstellungen.

Jede Nummer in elegantem Leinwandband

80 pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Zweck und Ziel der „Sammlung Götschen“ ist, dem gebildeten Laien eine klare, leichtverständliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben. In engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und mit steter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung, aber dabei doch in leichtverständlicher Form, bietet sie zuverlässige Belehrung. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhang miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung unseres gesamten Wissens bilden dürfte.

Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände.

Akustik. Theoret. Physik. I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

Musikalische, von Dr. Karl V. Schäfer, Dozent an der Universität Berlin. Mit 35 Abbild. Nr. 21.

Algebra. Arithmetik u. Algebra von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrten Schule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

Alpen, Die, von Dr. Robert Gieseler

Privat-
und P
akaden
in Wie
1 Karte

Altertüme
Dr. Fr
städtisch
schweig

Altertumskunde, Griech., von Prof. Dr. Richard Maisch, neu bearb. v. Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollb. Nr. 16.

— Römische, von Dr. Leo Bloch, Dozent an der Universität Zürich. Mit 8 Vollb. Nr. 45.

Analysis, Höhere, I: Differentialrechnung. Von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymnas. u. a. d. Realanstalt in Ulm. Mit 68 Fig. Nr. 87.

um u. Aufgaben-
differentialrechnung
h Junker, Pro-
gymnasium und
st in Ulm. Mit
3.

chnung. Von Dr.
of. a. Realgymn.
lanstalt in Ulm.
Nr. 88.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298040

Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Analysis, Höhere, II.** Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung v. Dr. Friedrich Junker, Professor am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm. Mit 50 Figuren. Nr. 147.
- **Niedere, v. Prof. Dr. Benedikt Sporer** in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.
- Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- — **Beispielsammlung zur Arithmetik u. Algebra.** 2765 Aufgaben, systematisch geordnet, von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.
- Astronomie.** Größe, Bewegung u. Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neubearb. von Dr. W. F. Wislicenus, Prof. an der Universität Straßburg. Mit 36 Abb. und einer Sternkarte. Nr. 11.
- Astrophysik, die Beschaffenheit der Himmelskörper** von Dr. Walter F. Wislicenus, Prof. a. d. Univ. Straßburg. Mit 11 Abbild. Nr. 91.
- Auffagentwürfe** von Oberstudienrat Dr. V. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnas. in Stuttgart. Nr. 17.
- Baukunst, Die, des Abendlandes** von Dr. R. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.
- Bewegungsspiele** von Dr. E. Kohlrausch, Professor an Königl. Kaiser-Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbild. Nr. 96.
- Biologie der Pflanzen** von Dr. W. Migula, Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 127.
- Biologie der Tiere I: Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur** von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbildungen. Nr. 131.
- Biologie der Tiere II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur** von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Brant, Hans Sachs und Johann Fischart** nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert v. Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Buchführung.** Vorgegang der einfachen u. doppelten Buchhaltung von Robert Stern, Oberlehrer der Öffentl. Handelslehranstalt und Dozent der Handelshochschule zu Leipzig. Mit vielen Formulare. Nr. 115.
- Buddha** von Professor Dr. Edmund Hardy in Würzburg. Nr. 174.
- **J. auch: Religionsgeschichte, Indische.**
- Burgenkunde, Abriss der,** von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 29 Abbild. Nr. 119.
- Chemie, Allgemeine und physikalische,** von Dr. Max Rudolphi, Dozent an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.
- **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 37.
- **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 38.
- Cid, Der.** Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen v. Bivar. Von J. G. Herder. Herausg. und erläutert von Professor Dr. E. Naumann in Berlin. Nr. 36.
- Dampfkessel, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 67 Figuren. Nr. 9.
- Dampfmaschine, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Figuren. Nr. 8.

Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Auswahl mit Einleitungen u. Wörterbuch herausgegeben von Dr. Hermann Janßen in Breslau. Nr. 137.
- Dietrichpen.** Kudrun u. Dietrichpen. Mit Einleitung u. Wörterbuch von Dr. D. L. Jiriczek, Prof. a. d. Universität Münster. Nr. 10.
- Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymn. u. a. d. Realanstalt in Ulm. Mit 68 Figuren. Nr. 87.
- **Repetitorium u. Aufgabensammlung 3. Differentialrechnung** von Dr. Friedrich Junker, Prof. am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm. Mit 42 Figuren. Nr. 146.
- Ebdalieder mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen** von Dr. Wih. Ranisch, Gymnasialoberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.
- Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Figuren und 4 Tafeln. Nr. 152.
- — II. Teil: Das Schmiedeeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.
- Elektrizität.** Theoret. Physik. III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.
- Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht** von Dr. A. Hippoldt jr., Mitgl. d. Kgl. Preuß. Meteorolog. Instituts zu Potsdam. Mit vielen Abbild. u. Karten. Nr. 175.
- Ethik** von Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.
- Europa. Länderkunde v. Europa** von Dr. Franz Heiderich, Prof. am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.
- Fernsprechwesen, Das,** von Dr. Ludwig Kellstab in Berlin. Mit 47 Fig. und 1 Tafel. Nr. 155.
- Finanzwissenschaft** von Geh. Reg.-Rat Dr. R. van der Borcht in Friedenau-Berlin. Nr. 148.
- Fischart, Johann.** Hans Sachs und Johann Fischart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Fischerei und Fischzucht** von Dr. Karl Eckstein, Professor an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstl. Versuchswesens. Nr. 159.
- Formelsammlung, Mathematische,** und Repetitorium der Mathematik, enthaltend die wichtigsten Formeln und Lehrsätze der Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphär. Trigonometrie, mathemat. Geographie, analyt. Geometrie der Ebene und des Raumes, der Differential- und Integralrechnung von D. Th. Birklen, Prof. am Kgl. Realgymnasium in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.
- **Physikalische,** von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.
- Forstwissenschaft v. Dr. Ad. Schwappach,** Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstl. Versuchswesens. Nr. 106.
- Fremdwort, Das, im Deutschen v. Dr. Rudolf Kleinpaul** in Leipzig. Nr. 55.
- Geodäsie** von Dr. C. Reinherz, Prof. an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.
- Geographie, Astronomische,** von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Techn. Hochschule in München. Mit vielen Abbild. Nr. 92.
- **Physische,** von Dr. Siegmund Günther, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule in München. Mit 32 Abbild. Nr. 26.
- **siehe auch:** Landeskunde. — Länderkunde.

Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Geologie** von Professor Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abb. und 4 Tafeln mit über 50 Fig. Nr. 13.
- Geometrie, Analytische, der Ebene** von Professor Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 57 Fig. Nr. 65.
- **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbild. Nr. 89.
- **Darstellende**, von Dr. Robert Hauptner, Prof. an der Techn. Hochschule Karlsruhe. I. Mit 100 Figuren. Nr. 142.
- **Ebene**, von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb. Figuren. Nr. 41.
- **Projektive**, in synthetischer Behandlung, von Dr. Karl Doeblemann, Professor a. d. Universität München. Mit 85 zum Teil zweifarbigen Figuren. Nr. 72.
- Geschichte, Bayerische**, v. Dr. Hans Döckel in Augsburg. Nr. 160.
- **Deutsche, im Mittelalter** (bis 1500) von Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 33.
- **Französische**, von Dr. R. Sternfeld, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 85.
- **Griechische**, von Dr. Heinrich Smoboda, Prof. an der deutschen Universität Prag. Nr. 49.
- **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Professor an der Universität München. Mit 6 Bildern und 1 Karte. Nr. 43.
- **Osterreichische, I:** Von der Urzeit bis 1526 von Hofrat Dr. Frz. v. Krones, Professor an der Universität Graz. Nr. 104.
- **II:** Von 1526 bis zur Gegenwart v. Hofrat Dr. Frz. v. Krones, Prof. an der Universität Graz. Nr. 105.
- **Römische**, neu bearbeitet v. Realgymnasialdirektor Dr. Julius Koch. Nr. 19.
- **Sächsische**, von Prof. Dr. Otto Raemmel, Rektor des Nikolaisgymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.
- Geschichte der Malerei** siehe: Malerei.
- **der Musik** siehe: Musik.
- **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.
- **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.
- Gesundheitslehre.** Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberrealschuldirektor in Freiburg i. B. Mit Gesundheitslehre v. Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen u. 1 Tafel. Nr. 18.
- Gletscherkunde** v. Dr. Friz Machacek in Wien. Mit 5 Abbild. im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.
- Götter- und Heldensage, Griechische und römische**, von Dr. Herm. Steuding, Professor am Königl. Gymnasium in Würzen. Nr. 27.
- siehe auch: Heldensage. — Mythologie.
- Gottfried von Straßburg.** Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. Gottfried v. Straßburg. Auswahl aus dem hof. Epos mit Anmerkungen u. Wörterbuch von Dr. A. Marold, Professor am Königl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22
- Grammatik, Deutsche**, und kurze Geschichte der deutschen Sprache v. Schulrat Professor Dr. D. Lyon in Dresden. Nr. 20.
- **Griechische, I:** Formenlehre von Dr. H. Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.
- **II:** Bedeutungslehre u. Syntax von Dr. Hans Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.
- **Lateinische.** Grundriß der lateinischen Sprachlehre von Prof. Dr. W. Votsch in Magdeburg. Nr. 82.
- **Mittelhochdeutsche.** Der Aibelunge Nöt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Goltzer, Prof. an der Universität Rostock. Nr. 1.

Sammlung Götschen

Je in elegantem
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Grammatik, Russische**, v. Dr. Erich Berneker, Prof. an d. Universität Prag. Nr. 66.
— siehe auch: Russisches Gesprächsbuch, — Lesebuch.
- Harmonielehre** von A. Halm, Musikdirektor in Stuttgart. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.
- Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg**. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am kgl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Hauptliteraturen, Die, des Orients** von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. I. II. Nr. 162. 163.
- Heldensage, Die deutsche**, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an der Universität Münster. Nr. 32.
— siehe auch: Götter- und Heldensage. — Mythologie.
- Herder, Der Eid**. Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen v. Bivar. Herausg. und erläut. von Prof. Dr. Ernst Naumann in Berlin. Nr. 36.
- Hutten**. Hans Sachs und Johann Fischart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Integralrechnung** von Dr. Frdr. Junker Prof. am Realgymn. und an der Realanstalt in Ulm. Mit 89 Figuren. Nr. 88.
— Repetitorium u. Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Frdr. Junker, Professor am Realgym. und an der Realanstalt in Ulm. Mit 50 Figuren. Nr. 147.
- Kartenkunde**, geschichtlich dargestellt von G. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Vuffin-piccolo und F. Sauter, Prof. am Realgymnasium in Ulm, neu bearb. von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbildungen. Nr. 30.
- Kirchenlied**. Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Professor G. Berlit, Oberlehrer a. Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Klimalehre** von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln und 2 Figuren. Nr. 114.
- Kolonialgeschichte** von Dr. Dietrich Schäfer, Prof. der Geschichte an der Universität Berlin. Nr. 156.
- Kompositionslehre**. Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.
- Körper, Der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten**, von E. Rebmann, Oberrealschuldirektor in Freiburg i. B. Mit Gesundheitslehre v. Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbild. u. 1 Tafel. Nr. 18.
- Rudrun und Dietrichepen**. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. D. L. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.
— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.
- Kulturgeschichte, Deutsche**, von Dr. Reinhold Günther. Nr. 56.
- Künste, Die graphischen**, von Carl Kampmann, Fachlehrer an der k. k. Graphischen Lehr- u. Versuchsanstalt in Wien. Mit 3 Beilagen und 40 Abbild. Nr. 75.
- Kurzschrift**. Lehrbuch der vereinfachten Deutschen Stenographie (Einigungssystem Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücke und einem Anhang von Dr. Umsel, Oberlehrer d. Kadettenhauses in Dranienstein. Nr. 86.
- Länderkunde von Europa** von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

Sammlung Götschen

Je in elegantem
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Völkerkunde der außereuropäischen Erdteile v. Dr. Franz Heiderich, Prof. am Franzisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Fertkärtchen und Profilen. Nr. 63.

Landeskunde des Königreichs Württemberg v. Dr. Kurt Hassert, Professor der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 157.

Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert. Kulturhistor. Erläuterungen z. Nibelungenlied und zur Kudrun. Von Professor Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Tafel und 30 Abbildungen. Nr. 93.

Lessings Emilia Galotti. Mit Einleitung und Anmerkungen von Oberlehrer Dr. Votsch. Nr. 2.

— **Fabeln,** nebst Abhandlungen mit dieser Dichtungsart verwandten Inhalts. Mit Einleitung von Karl Goedeke. Nr. 3.

— **Minna von Barnhelm.** Mit Anmerk. von Dr. Tomaschek. Nr. 5.

— **Nathan der Weise.** Mit Anmerkungen von den Professoren Denzel und Kraz. Nr. 6.

Licht. Theoret. Physik. II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

Literatur, Althochdeutsche, mit Grammatik, Übersetzung und Erläut. von Th. Schausfler, Prof. a. Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

Literaturen, Die, d. Orients. I. Teil: Die Literaturen Ostasiens und Indiens von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 162.

— II. Teil: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 163.

Literaturgeschichte, Deutsche, von Dr. Max Koch, Professor an der Universität Breslau. Nr. 31.

Literaturgeschichte, Deutsche, der Klassikerzeit von Dr. Carl Weitbrecht, Prof. an der Technischen Hochschule Stuttgart. Nr. 161.

— **Deutsche, des 19. Jahrhunderts** von Dr. Carl Weitbrecht, Prof. an der Technischen Hochschule Stuttgart. I. II. Nr. 134. 135.

— **Englische,** von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.

— **Griechische,** mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gercke, Professor an der Universität Greifswald. Nr. 70.

— **Italienische,** von Dr. Karl Voßler, Professor an d. Univ. Heidelberg. Nr. 125.

— **Römische,** v. Dr. Hermann Joachim in Hamburg. Nr. 52.

— **Russische,** v. Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.

— **Spanische,** von Dr. Rudolf Beer in Wien. I. II. Nr. 167. 168.

Logarithmen. Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithm. und trigonometr. Rechnen in 2 Farben zusammengestellt von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 81.

Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Luther, Martin, Thomas Murner u. d. Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt u. mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Magnetismus. Theoret. Physik. III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V. von Dr. Rich. Muthet, Prof. an der Universität Breslau. Nr. 107—111.

Sammlung Götschen

Je in elegantem
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Mathematische Formelsammlung** und Repetitorium der Mathematik von D. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.
- Mechanik.** Theoretische Physik. I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an d. Univ. Wien. Mit 19 Abb. Nr. 76.
- Meereskunde, Physische,** von Dr. Gerh. Schott, Abteilungsleiter bei der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.
- Meteorologie** von Dr. W. Trabert, Dozent an der Universität und Sekretär der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie in Wien. Mit 49 Abbild. und 7 Tafeln. Nr. 54.
- Mineralogie** von Dr. R. Brauns, Prof. an der Universität Gießen. Mit 130 Abbild. Nr. 29.
- Minnesang und Spruchdichtung.** Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Günther, Prof. an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.
- Morphologie. Anatomie u. Physiologie der Pflanzen.** Von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit viel. Abb. Nr. 141.
- Murner, Thomas.** Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer a. Nikolai-gymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen,** von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbild. und Musikbeilagen. Nr. 121.
- Musikalische Formenlehre (Kompositionslehre)** v. Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.
- Musikgeschichte des 19. Jahrhunderts** von Dr. R. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.
- Mythologie, Deutsche,** von Dr. Friedrich Kauffmann, Professor an der Universität Kiel. Nr. 15. — siehe auch: Götter- und Helden-sage. — Helden-sage.
- Nautik.** Kurzer Abriss des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigationschule zu Lübeck. Mit 56 Abbild. Nr. 84.
- Nibelunge, Der, Nöt in Auswahl** und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Professor an der Universität Rostock. Nr. 1. — — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.
- Nutzpflanzen** von Professor Dr. J. Behrens, Vorstand der Großlandwirtschaftlich. Versuchsanstalt Augustenberg. M. 53 Abb. Nr. 123.
- Pädagogik im Grundriß** von Professor Dr. W. Rein, Direktor des Pädagog. Seminars an der Universität Jena. Nr. 12. — Geschichte der, von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.
- Paläontologie** v. Dr. Rud. Hoernes, Prof. an der Universität Graz. Mit 87 Abbild. Nr. 95.
- Perspektive** nebst einem Anhang über Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Freyberger, Fachlehrer an der Kunstgewerbeschule in Magdeburg. Mit 88 Figuren. Nr. 57.
- Petrographie** von Dr. W. Bruhns, Prof. a. d. Universität Straßburg i. E. Mit vielen Abbild. Nr. 173.
- Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben** von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbild. Nr. 44.
- Pflanzenbiologie** v. Dr. W. Migula, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 127.
- Pflanzen-Morphologie, Anatomie und Physiologie** von Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

Sammlung Göschen

Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht

von

Dr. A. Nippoldt jun.

Mitglied des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts
(Magnetisches Observatorium zu Potsdam)

Mit 3 Tafeln und 14 Figuren.

~~~~~  
Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1903

X  
2585

I 301414

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht von  
der Verlagshandlung vorbehalten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

~~I 26~~  
-

Spamersche Buchdruckerei, Leipzig

Akc. Nr.

~~3025~~ / 49

BPK - B - 1/2017

# Inhaltsverzeichnis.

---

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Einige Literatur . . . . .                                                          | 5  |
| Einleitung . . . . .                                                                | 9  |
| Die Elemente des Erdmagnetismus.                                                    |    |
| § 1. Die Elemente . . . . .                                                         | 11 |
| § 2. Die Bestimmung der Elemente aus Beobachtungen . . . .                          | 12 |
| § 3. Die zeitlichen Veränderungen der Elemente und ihre Beobachtung . . . . .       | 18 |
| § 4. Das Beobachtungsmaterial; die magnetischen Observatorien                       | 23 |
| Der permanente Magnetismus der Erde.                                                |    |
| § 5. Die räumliche Verteilung der Elemente . . . . .                                | 25 |
| § 6. Die mathematische Theorie des Erdmagnetismus . . . . .                         | 30 |
| § 7. Vertikale elektrische Ströme . . . . .                                         | 38 |
| § 8. Der normale und anormale Magnetismus der gesamten Erde                         | 40 |
| § 9. Erklärungsversuche des Wesens des permanenten Erdmagnetismus . . . . .         | 43 |
| § 10. Lokale und regionale Anomalien . . . . .                                      | 45 |
| § 11. Änderung des Erdmagnetismus mit der Höhe . . . . .                            | 49 |
| Die Variationen des Erdmagnetismus.                                                 |    |
| § 12. Die verschiedenen Arten der Variationen . . . . .                             | 50 |
| § 13. Die säkulare Variation . . . . .                                              | 53 |
| § 14. Die tägliche und jährliche Variation . . . . .                                | 56 |
| § 15. Die Theorie der täglichen und jährlichen Variation . . . .                    | 62 |
| § 16. Die magnetischen Störungen . . . . .                                          | 69 |
| § 17. Die elfjährige Periode . . . . .                                              | 74 |
| § 18. Der Einfluß der Sonne auf den Erdmagnetismus . . . . .                        | 77 |
| § 19. Die 26tägige Periode . . . . .                                                | 81 |
| § 20. Beziehungen der erdmagnetischen Variationen zu den meteorologischen . . . . . | 82 |
| § 21. Der Einfluß des Mondes . . . . .                                              | 85 |
| § 22. Der Einfluß der Planeten . . . . .                                            | 88 |
| § 23. Gelegentliche Einflüsse . . . . .                                             | 90 |

## Der Erdstrom.

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 24. Geschichtliches; die verschiedenen Arten von Erdströmen . . . . .  | 92  |
| § 25. Der Erdstrom der festen Rinde . . . . .                            | 94  |
| § 26. Der reine Induktionsstrom . . . . .                                | 99  |
| § 27. Vertikale Erdluftströme . . . . .                                  | 100 |
| § 28. Erklärungsversuche des Wesens der Erdströme . . . . .              | 101 |
| § 29. Beziehungen zwischen Erdstrom und Erdmagnetismus . . . . .         | 103 |
| § 30. Beziehungen des Erdstromes zu meteorologischen Elementen . . . . . | 104 |

## Das Polarlicht.

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| § 31. Erscheinungsformen des Polarlichtes . . . . .            | 105 |
| § 32. Die Verbreitung der Polarlichter über die Erde . . . . . | 110 |
| § 33. Lage des Polarlichtes . . . . .                          | 112 |
| § 34. Polarlichtperioden . . . . .                             | 115 |
| § 35. Die physischen Eigenschaften des Polarlichtes . . . . .  | 118 |
| § 36. Künstliche Nordlichterscheinungen . . . . .              | 122 |
| § 37. Polarlichttheorien . . . . .                             | 125 |
| § 38. Polarlicht und Erdmagnetismus . . . . .                  | 129 |
| § 39. Polarlicht und meteorologische Erscheinungen . . . . .   | 130 |

## Einige Literatur.

### *Lehrbücher und zusammenfassende Darstellungen.*

- Mascart, E., *Traité de magnetisme terrestre*. Gauthier-Villars. Paris 1900. Das einzige vollständige Lehrbuch des Erdmagnetismus.
- Günther, S., *Handbuch der Geophysik*. 2. Aufl. Bd. I. F. Enke. Stuttgart 1897. Kritische Zusammenstellung der gesamten Literatur.
- Hellmann, G., *Repertorium der deutschen Meteorologie*. W. Engelmann. Leipzig 1883. Enthält auch die deutschen Arbeiten über Erdmagnetismus verzeichnet (bis 1881).
- Schering, K., *Die Entwicklung und der gegenwärtige Standpunkt der erdmagnetischen Forschung*; in *Wagners geogr. Jahrbuch*.
- Neumayer, G., *Über das gegenwärtig vorliegende Material für die erd- und weltmagnetische Forschung*. Verhdl. d. Deutschen Geographentages zu Berlin 1889. Dietrich Reimer. Berlin.

### *Geschichte.*

- Hellmann, G., *Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus*. A. Asher. Berlin.
- Nr. 9. Gellibrand, H., *A Discourse Mathematical on the Variation of the Magnetical Needle*. London 1635.
- Nr. 10. *Rara Magnetica*. 1269—1599.
- Günther, S., *Johannes Kepler und der tellurisch-kosmische Magnetismus*. E. Hölzel. Wien und Olmütz 1888.
- Schering, E., *Carl Friedrich Gauß und die Erforschung des Erdmagnetismus*. Göttingen 1887.

### *Theorie.*

- Gauß, C. F., *Gesammelte Werke*. Band V. Göttingen 1877.
- Bezold, W. v., *Der normale Erdmagnetismus*. Berl. Sitz.-Ber. 1895.
- *Zur Theorie des Erdmagnetismus*. Ebenda 1897.
- *Isanomalien des erdmagnetischen Potentials*. Ebenda 1895.
- Carlheim-Gyllenskiöld, V. v., *Sur la forme analytique de l'attraction magnétique de la terre*. Astron. Jaktag. Stockholm 1896.
- Schuster, A., *The Diurnal Variation of Terrestrial Magnetism*. Phil. Trans. London 1889.

- Nippoldt, A., Der heutige Stand der Theorie vom Erdmagnetismus. Phys. Zeitschr. 1900.  
 Die Gaußsche Theorie ist besonders berücksichtigt in  
 Gray, A., A Treatise on Magnetism and Electricity. Vol. 1. Mac Millan and Co. London 1898.  
 Ferner in den bekannten Lehrbüchern von Maxwell, Riemann-Hattendorff und Neumanns Potentialtheorie. Über die Kugelfunktionsdarstellung vergleiche außer diesen Werken:  
 Schuster, A., Neue Methode der Kugelfunktionsentwicklung. Intern. Meteorol. Kongreß zu Chicago.  
 Klein, F., Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf Geometrie. In Komm. bei G. B. Teubner. Leipzig 1902.

### *Berechnungen des erdmagnetischen Potentials und Kartenwerke.*

- Gauß, C. F., Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus. Siehe in seinen gesammelten Werken Bd. V.  
 Gauß, C. F. und W. Weber, Atlas des Erdmagnetismus. Leipzig 1840.  
 Erman, A., und Petersen, Die Grundlagen der Gaußschen Theorie etc. im Jahre 1829. Berlin 1874.  
 Quintus-Idilius, G. v., Elemente des Erdmagnetismus für die Epoche 1880. Archiv der Deutschen Seewarte 1881.  
 Neumayer-Petersen, G., verwertet in  
 Neumayer, G., Atlas des Erdmagnetismus. Berghaus' Physikalischer Atlas. Justus Perthes. Gotha 1891.  
 Schmidt, Ad., Mitteilungen über eine neue Berechnung des erdmagnetischen Potentials. Abh. d. Akad. d. W. München 1895.  
 — Der magnetische Zustand der Erde zur Epoche 1885. Archiv der Deutschen Seewarte. Hamburg 1898.  
 Adams, J. C. u. W. G., Determination of the Gaussian Magnetic Constants. Rep. Bristol Meeting. London 1899. Zwei Berechnungen, die eine für 1845, die andere für 1885.  
 Carlheim-Gyllenskiöld, V. v., siehe oben; berechnet das Potential für die Epochen: 1600, 1700, 1784, 1787 u. 1858.  
 Fritsche, H., Über die Bestimmung der Koeffizienten der Gaußschen Theorie etc. für 1885. St. Petersburg 1897.  
 — Die Elemente des Erdmagnetismus für die Epochen 1600, 1650, 1700, 1780, 1842 und 1885. St. Petersburg 1899.  
 — Die Elemente des Erdmagnetismus von 1550—1915. St. Petersburg 1900.  
 — Die tägliche Periode der erdmagnetischen Elemente. St. Petersburg 1902.  
 Schmidt, Ad., Karte der Linien gleicher Werte der Kraftkomponenten. Peterm. Mitt. 1898.  
 Bemmelen, W. van, Isogonenkarten für 1500, 1550, 1600, 1650 und 1700. Batavia, Magn. Observ. 1899.

### *Anleitung zum Beobachten.*

- Lamont, J., Handbuch des Erdmagnetismus. Veit & Co. Berlin 1849. Ist für den heutigen Stand der Beobachtungskunst maßgebend geworden.

Liznar, J., Anleitung zur Messung und Berechnung der Elemente des Erdmagnetismus. Wien 1883.

### *Erdstrom.*

- Weinstein, B., Die Erdströme im deutschen Reichstelegraphengebiet; mit Atlas. Vieweg & Sohn. Braunschweig 1900.  
 Bachmetjew, P., Der Stand der Frage über elektrische Erdströme. Mem. d. Akad. St. Petersburg 1901.

### *Polarlicht.*

- Birkeland, K., Expédition Norvégienne de 1899—1900. Jacob Dybwad. Christiania 1901.  
 Angot, A., Les aurores polaires. Felix Alcan. Paris 1895.  
 Boller, W., Das Südlicht. Beiträge zur Geophysik. Bd. 3. Leipzig 1898.

### *Beobachtungen (soweit benutzt).*

- Lüdeling, G., Ergebnisse zehnjähriger magnetischer Beobachtungen in Potsdam. Abhdl. d. Kgl. Meteorologischen Instituts. Bd. I. Berlin 1901.  
 Figeé, G., Results of the Magnetical Observations made 1882—1899 at Batavia 1901.  
 Neumayer, G., Discussion of the Meteorological and Magnetical Observations of Melbourne. Mannheim 1867.  
 Eine Fülle von Beobachtungsmaterial von größtem Werte befindet sich in den „Polarwerken“ aus dem „Internationalen Polarjahre 1882/83“.

### *Periodische Werke.*

- Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, eine internationale Vierteljahrsschrift, 11 Mk. d. J. Herausgegeben von L. A. Bauer, Washington, Coast and Geodetic Survey. Das führende Organ auf unserem Gebiete. Enthält eine Fülle klassischer Arbeiten.  
 Physikalische Zeitschrift, herausgegeben von E. Riecke und H. Th. Simon. Leipzig bei Hirzel.  
 Beiträge zur Geophysik, herausgegeben von G. Gerland. Leipzig. W. Engelmann.  
 Außerdem bringen folgende deutsche Zeitschriften häufiger originale magnetische Arbeiten: Archiv der Deutschen Seewarte, Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie (Hamburg, Seewarte). Meteorologische Zeitschrift (Wien bei Hölzel). Das Wetter (Berlin, Salle). Annalen der Physik (Leipzig, Barth).  
 Regelmäßige jährliche Berichte erscheinen in:  
 Fortschritte der Physik, herausgegeben von der deutschen Physikalischen Gesellschaft. Band 3: Kosmische Physik, redigiert von R. Aßmann. Vieweg & Sohn. Braunschweig.  
 Klein, H. J., Jahrbuch für Astronomie und Geophysik. Leipzig, H. Mayer.

Aus der

*Sammlung Göschen*

behandeln folgende Nummern dem Inhalt des vorliegenden Bändchens nahe verwandte Gebiete:

- Nr. 54. **Trabert, W.**, Meteorologie. 2. Aufl. 1901.  
" 26. **Günther, S.**, Physische Geographie. 2. Aufl. 1901.  
" 91. **Wislicenus, W. F.**, Astrophysik. 2. Aufl. 1903.  
" 76-78. **Jäger, G.**, Theoretische Physik. 2. Aufl. 1902.  
" 11. **Möbius, A. F.**, Astronomie. 10. Aufl. 1903.  
Weitere Nummern finden sich im Text angeführt.

## Einleitung.

Ein Magnet, der freie Beweglichkeit besitzt, in seinem Schwerpunkte aufgehängt und der Einwirkung anderer magnetischer Felder entzogen ist, stellt sich überall auf der Erde und zu jeder Zeit in eine bestimmte Richtung ein. Die Eigenschaft unseres Planeten, diese Erscheinung hervorzurufen, nennt man den Erdmagnetismus. Es ist dies nicht die einzige Äußerung seines Vorhandenseins. Es treten vornehmlich noch zwei weitere hinzu: magnetisierbare Körper, wie Eisen und Stahl, werden unter seinem Einflusse vorübergehend oder dauernd magnetisch; in einem bewegten, geschlossenen Leiter vermag er elektrische Ströme zu erzeugen. Alle drei Arten der Äußerung kommen zur Beobachtung.

Die Bedeutung des Erdmagnetismus für das praktische Leben beruht vorwiegend in seiner Richtkraft. Sie allein ermöglichte es der Schiffahrt, von der Küste frei zu kommen, befähigt den Bergmann, im Innern der Erdrinde seinen Weg zu finden; aber auch manche andere praktische Anwendung werden wir antreffen.

Der Erdmagnetismus nimmt eine Mittelstellung ein zwischen der Schwere und den Erscheinungen der Meteorologie. Mit ersterer verbindet ihn die Ähnlichkeit zwischen magnetischer und Massenanziehung und

seine kosmische Universalität, sowie, daß auch er eine gerichtete Kraft ist. Er unterscheidet sich jedoch von ihr besonders dadurch, daß er einen Magneten von uns zugänglichen Größenverhältnissen nur drehen, nicht als Ganzes im Raum bewegen kann: ein Magnet fällt nur, weil er zugleich ein der Schwere unterworfenen Körper ist, nicht als Magnet. Äußerlich unterscheidet sich die erdmagnetische Kraft durch ihre beständige Veränderlichkeit von der Schwere, die zwar solche Veränderungen ebenfalls erleidet, bei der sie aber so klein sind, daß man sie mit Sicherheit noch nicht hat nachweisen können.

Diese Veränderungen verbinden den Erdmagnetismus nun wieder mit der Meteorologie, doch haben sie den meteorologischen gegenüber den Vorzug, eben als magnetische Erscheinungen genauer und schärfer sich auszusprechen, als das Durcheinander der atmosphärischen Vorgänge, und daher der scharfen Forschung zugänglicher zu sein als diese.

Bedenkt man dann noch, daß der Bau des Erdkörpers mit ihm in enger Verbindung steht, die Tätigkeit der Sonne sich in seinen Veränderungen deutlich widerspiegelt, Mond und Planeten von Einfluß sind, so erkennt man, welche eine gewichtige Rolle er in der Physik des Kosmos zu spielen berufen ist.

---

# Die Elemente des Erdmagnetismus.

## § 1. Die Elemente.

1. Für einen beliebigen Ort und eine beliebige Zeit ist die Wirkung des Erdmagnetismus bekannt, wenn man angeben kann, in welche Richtung er den frei aufgehängenen Magneten zu stellen versucht und mit welcher Stärke dies geschieht. Hat sich der Magnet eingestellt, so befindet er sich in einer Vertikalenebene, welche die Ebene des magnetischen Meridians heißt. Diese schließt mit der Ebene des geographischen Meridians einen Winkel ein, der im allgemeinen von Null verschieden ist; er heißt die magnetische Deklination (bezeichnet mit  $\delta$ ). Außerdem ist unser Magnet fast überall gegen den Horizont geneigt. Dieser Neigungswinkel führt den Namen Inklination (bezeichnet mit  $i$ ). Die Kenntnis der Deklination und Inklination zusammen bestimmt vollkommen die Richtung des Erdmagnetismus.

2. In dieser Richtung wirkt er auf den einen Pol des Magneten ebenso stark anziehend, wie auf den anderen abstoßend. Den Fall vorausgesetzt, daß es sich um einen Magneten vom Momente Eins handelt, nennt man diese Stärke die Totalintensität (bezeichnet mit  $T$ ) des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte. Wie eine jede Kraft, zerlegt man auch die Totalintensität in rechtwinklige Komponenten, näm-

lich, in der Horizontalebene wirkend, eine Komponente parallel der Richtung geographisch Süd-Nord ( $x$ -Komponente) und eine andere parallel West-Ost ( $y$ -Komponente). Beide zusammen bestimmen den in der Horizontalebene wirkenden Anteil, die Horizontalintensität (bezeichnet mit  $H$ ). Die dritte Komponente ist die vertikal nach unten gerichtete Vertikalintensität (bezeichnet mit  $Z$ ).

Deklination, Inklination und Horizontalintensität sind der Beobachtung am leichtesten zugänglich; sie, und vielleicht noch die Vertikalintensität führen auch den Namen der Elemente des Erdmagnetismus.

## § 2. Die Bestimmung der Elemente aus Beobachtungen.

3. Am frühesten verstand man es, die Deklination der Messung zu unterziehen. Sie wurde in Europa von Kolumbus am 13. November 1492 auf seiner Fahrt nach Amerika entdeckt. Bis dahin war man der Meinung gewesen, die Nadel des Kompasses zeige stets nach geographisch Nord. Später wurde sie (1510) von G. Hartmann auf einer Reise in Rom aufs neue entdeckt. Aber während Kolumbus nur ganz rohe Verfahren ersann, die Deklination zu messen, hat sein Nachfolger sie bei weitem schärfer zu bestimmen gelehrt. In der Folge hat besonders der portugiesische Ostindienfahrer João de Castro um 1538 gute und sehr brauchbare Methoden ausgearbeitet und geprüft.

Heute\*) beobachtet man die Deklination vorzugs-

---

\*) Hier und im folgenden sind stets die Beobachtungsmethoden der magnetischen Observatorien betrachtet. Die volle Theorie erdmagnetischer Messungen siehe Sammlung Göschen Nr. 78, Theoretische Physik III.

weise mit einem sogenannten magnetischen Theodoliten. Ein an einem Faden aufgehängter Magnet trägt einen Spiegel, auf den ein Fernrohr mit Fadenkreuz gerichtet werden kann. Der Beobachter sieht das gespiegelte und das wahre Fadenkreuz gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohrs. Bringt er beide zur Deckung, so hat er, von Fehlerquellen abgesehen, die Richtung des Magneten. Diesen entfernt er nun und stellt sein Fadenkreuz auf einen festen, irdischen Gegenstand ein. Die Richtung nach diesem weicht wohl meist auch von der Richtung nach dem wahren Norden ab. Den Gegenstand nennt man die *Mirè*, die Abweichung seiner Richtung von Norden das Azimut der *Mirè*, das aus astronomischen Messungen bekannt sein muß.

Sei  $a$  das Azimut der *Mirè*,  $v$  der Winkel, um den das Fernrohr gedreht werden müßte, damit es von der Richtung auf den Magneten in die auf die *Mirè* übergehe, so ist die Deklination  $\delta$

$$\delta = v + a.$$

4. Hartmann war auch der erste, der die Inklination bestimmte und zwar mit Hilfe des von ihm erfundenen Nadelinklinatorium. Da er hiervon nur in einem Briefe Mitteilung machte, galt bis vor kurzem der Engländer Norman als der Entdecker der Inklination.

Ein solches Inklinatorium besteht aus einem vertikalen Teilkreise, in dessen Mittelpunkt ein Lager sich befindet, auf das eine Magnetnadel aufgelegt werden kann. Sie trägt zu diesem Zwecke sehr sauber zu arbeitende Achsen, die so gut, wie dies ermöglicht werden kann, durch den Schwerpunkt gehen sollen. Ist dies vollkommen erreicht, außerdem die Achse horizontal, und steht der Teilkreis im magnetischen

Meridian, so ist die an ihm abzulesende Neigung der Nadel gegen die Horizontale die gesuchte Inklination. Um den Einfluß einer etwa vorhandenen schiefen Lage des Schwerpunktes zu beseitigen, magnetisiert man die Nadel um. Das Mittel der beiden Einstellungen gibt dann die wahre Inklination.

5. Alle Messungen mit Nadelinklinatorien haben so viele Fehlerquellen, daß die Bestimmung der Inklination mit ihrer Hilfe nicht auf der Höhe der Deklinationsmessungen steht. Es war daher die stete Sorge der Physiker, andere Methoden auszudenken. Von allen diesen hat nur die Messung mit dem Erdinduktor die gehegten Erwartungen befriedigen können, ein Apparat, dessen Erfindung und ursprüngliche Gestalt wir Wilhelm Weber verdanken.

Hier wird die Eigenschaft des Erdmagnetismus benutzt, in einem geschlossenen Stromwege elektrische Ströme induzieren zu können, sobald der Leiter bewegt wird. Als solchen wählt man heute eine ringförmige Spule, die um einen ihrer Durchmesser drehbar ist.

Fällt die Richtung der Totalintensität mit der Drehachse der Spule nicht zusammen, so ändert sich bei der Drehung fortgesetzt die Neigung der Spule gegen die Totalintensität; es muß also ein elektrischer Strom entstehen, was an einem Galvanometer abzulesen. Fällt dagegen die Drehungsachse mit der Richtung des Erdfeldes zusammen, hat sie also die Neigung der Inklination und steht im magnetischen Meridian, so kann kein Strom entstehen. Mit Hilfe eines geteilten Vertikalkreises ist diese Achsenstellung leicht zu ermitteln. Mit dieser von K. Schering und H. Wild ausgearbeiteten Methode und nur mit ihr ist es möglich geworden, die Inklination so genau wie die Deklination zu beobachten.

6. Die Bestimmung der Horizontalintensität ist

erst in dem eben vergangenen Jahrhundert in Angriff genommen worden, und zwar durch A. v. Humboldt. Er benutzte dazu die Schwingungsdauer einer horizontalen Magnetnadel, die, aus dem Meridian abgelenkt, um diesen so schwingt, wie ein Pendel um die Vertikale. Die Dauer dieser Schwingung ( $\tau$ ) ist um so größer, je mehr Masse in Bewegung zu setzen und je weiter sie von der Drehungsachse entfernt ist, beides durch das Trägheitsmoment ( $K$ ) ausdrückbar; außerdem hängt sie vom magnetischen Momente ( $M$ ) der Nadel ab, also unter allen Umständen von dem benutzten Magneten selbst, gibt daher keine für sich allein ausreichende Angaben zur Berechnung der Horizontalintensität.

Hier griff nun Gauß ein und brachte nicht nur die erdmagnetischen Messungen auf eine hohe Stufe der Genauigkeit, sondern schuf damit auch die Grundlage, auf der unser ganzes physikalisches, sogenanntes absolutes Maßsystem sich aufbaut.

Der Zusammenhang jener oben eingeführten Größen, die die Schwingungsdauer bestimmen, ist

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}};$$

folglich liefern sie

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

worin zwar rechter Hand alles bekannt, links aber  $M$  und also auch  $H$  noch unbekannt sind. Der Kern der Gaußschen Untersuchung liegt nun darin, daß er denselben Magneten, der die Schwingungen ausführte, einen anderen Magneten aus bekannten Entfernungen ablenken ließ.

Handelt es sich nicht um einzelne Pole, sondern um Polpaare, so ist deren Wechselwirkung in höherem Grade von der Entfernung abhängig. Gauß lehrte, sie in Reihen darzustellen. Es lassen sich die Anordnungen der Messung dann stets so treffen, daß die Reihen stark konvergieren; dann genügt es, jederseits aus zwei verschiedenen, geeignet gewählten Entfernungen abzulenken. Die Ablenkungen liefern das Verhältnis  $\frac{M}{H}$ . Hat man demnach sowohl Schwingungen, als auch Ablenkungen, so kann man das Moment des ablenkenden Magneten und die Horizontalintensität getrennt erhalten.

Derselbe Theodolit, der zu den Deklinationsbestimmungen verwendet wird, dient auch zur Messung der Horizontalintensität. Er trägt zu diesem Zwecke beiderseits Ablenkungsschienen, die auf demselben Träger fest aufgeschraubt sind, der das Fernrohr trägt, und auf dessen Richtung senkrecht stehen. Ein auf die Schienen gelegter Magnet lenkt einen anderen, auf den das Fernrohr gerichtet ist, aus dem Meridian ab, so daß das Bild des gespiegelten Fadenkreuzes (vgl. 3) aus dem Gesichtsfelde verschwindet. Man dreht das Fernrohr dem Magneten nach, bis das Bild des Fadenkreuzes wieder erscheint. Es hat also jetzt das Fernrohr die Richtung des abgelenkten Magneten, und da es seine Stellung gegen die Schienen nicht geändert hat, so stehen diese senkrecht zum Magneten. Die Ablenkung ist daher die größte unter der herrschenden Horizontalintensität und dem gegebenen Momente sowie der gewählten Entfernung mögliche. Dies ist der eine Vorteil der Methode; der andere besteht darin, daß nunmehr der Sinus des Ablenkungswinkels

eingeht. Die hier besprochene Methode stammt von Lamont, einem Zeitgenossen von Gauß.

7. Wo die Horizontalintensität zu gering ist, muß man versuchen, statt ihrer die Vertikal- oder Totalintensität der Beobachtung zu unterziehen, wobei aber stets der Einfluß der Schwere die Genauigkeit der Messung sehr herabdrückt. Man hat zu diesem Zwecke an Nadelinklinatorien Ablenkungsvorrichtungen angebracht, allein es gehen die Fehlerquellen der Nadelinklinatorien hier zum Teil noch stärker ein, als bei der Inklination.

Die soeben besprochenen Messungen der Elemente des Erdmagnetismus dürfen als die gebräuchlichsten gelten. Von anderen Methoden seien, da sie die verlangte Genauigkeit von Observatoriumsmessungen erreichen, das absolute Bifilar von Kohlrausch und der Bifilartheodolit von Wild erwähnt.

8. Solche Messungen, wie die hier beschriebenen, die eine jede in den Formeln vorkommende Größe (Trägheitsmoment, Entfernung, magnetisches Moment u. s. w.) unabhängig voneinander bestimmen, nennt man absolute Messungen. Ihnen stehen zunächst die relativen gegenüber. Hat man z. B. an verschiedenen Orten nur Schwingungsdauern beobachtet, so verhalten sich die Intensitäten an diesen Orten umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungsdauern desselben Magneten. Kennt man daher für einen der Orte die Intensität, so kann man sie auch für die anderen berechnen, ohne Ablenkungen, Trägheitsmomentbestimmungen und dergleichen ebenfalls vorzunehmen. Voraussetzung ist die Unveränderlichkeit der instrumentellen Eigenheiten. Das Gleiche gilt für Bestimmungen lediglich aus Ablenkungen. Solche

relative Messungen kommen namentlich bei Reisebeobachtungen in Betracht.

Eine besondere Klasse relativer Apparate bilden die Lokalvariometer von Kohlrausch und Heydweiller; sie haben die Aufgabe, örtliche Variationen auf kleinem Raume zu messen.

### § 3. Die zeitlichen Veränderungen der Elemente und ihre Beobachtung.

9. Wiederholt man eine der absoluten Messungen am selben Orte, so findet man im allgemeinen einen anderen Wert als vorher; der Erdmagnetismus hat sich geändert. Man nennt solche mit der Zeit erfolgende Änderungen die Variationen des erdmagnetischen Elementes.

Da eine absolute Bestimmung eine geraume Zeit zu ihrer Durchführung bedarf, so kann man mit ihrer Hilfe die Variationen nicht dauernd verfolgen. Man baut daher besondere Instrumente, sogenannte Variometer oder Magnetometer. Die ersten Magnetometer, die wirklich tauglich waren, die Änderungen des Erdmagnetismus lückenlos beobachten zu lassen, entstanden im ersten Drittel des vergangenen Jahrhunderts an den magnetischen Observatorien zu Göttingen und München.

Während man vordem, um seine Richtung zu erhalten, den Magneten über einem getheilten Kreise schweben ließ und das Einspielen seiner Enden beobachtete, führte Gauß die, unabhängig schon von Poggendorff angegebene, auf Prony zurückzuführende Spiegelablesung ein. Sie besteht darin, daß am Magneten ein Spiegel angebracht ist, der von einem Fernrohre mit Fadenkreuz anvisiert wird und das Bild einer

Skala zurückwirft, die am Fernrohre befestigt ist. Ändert sich die Richtung des Magneten bis zu einer neuen Ruhelage, so ist am Faden des Fernrohres ein anderer Teil der Skala zu sehen. Diese Art der Ablesung ist allen Magnetometern gemein und eine sehr genaue.

10. Um die Variationen der Deklination zu erhalten, hängt man einen möglichst starken Magneten an einem Metalldrahte, einem Cocon- oder Quarzfaden auf, d. h. man versieht ihn mit einer „unifilaren Aufhängung“, spricht daher auch von einem Unifilarmagnetometer. Die Ruhelage des Magneten hängt von der Richtung des magnetischen Meridians, d. i. der Deklination, und der Torsion seines Aufhängefadens ab, welch letztere möglichst klein gemacht wird. Ist der Magnetspiegel um 1,72 m von der Skala des Fernrohres entfernt, so entspricht einem Ausschlage von 1 mm gerade eine Bogenminute. Durch Wahl einer größeren Entfernung ließe sich diese Empfindlichkeit steigern, doch ist dies eine wenig zweckmäßige Art.

11. Die Variationen der Horizontalintensität zu messen, erdachte Gauß sein Bifilarmagnetometer. Wie der Name besagt, hängt hier der Magnet an zwei Drähten. Ein unmagnetischer Stab würde sich nun so einstellen, daß die beiden Drähte in einer Ebene liegen. Auch ein Magnet würde diese Ruhelage aufsuchen, läge sie zufälligerweise im magnetischen Meridian. Gesetzt, dem sei zunächst auch so! Drehen wir nun die obere Verbindungslinie der Fadenenden aus dem Meridiane heraus, so kann der Magnet die Drehung nur so weit mitmachen, als die Torsionskraft die Richtkraft in den Meridian über-

trifft. Durch stete Torsion kann man jedoch den Magneten zwangsweise so weit drehen, daß er zum Meridian senkrecht steht. Die Schwankungen in der Richtung, die wir jetzt noch mit Spiegel und Skala beobachten, hängen ab von Änderungen des magnetischen Momentes, der Torsionskraft oder der Horizontalintensität. Die Empfindlichkeit des Instrumentes berechnet sich außer aus der Entfernung vom Spiegel zur Skala noch aus magnetischem Momente und Torsionskraft. Sie läßt sich durch Vergrößerung dieser drei Faktoren verändern.

12. Es ist bis heute noch nicht gelungen, die Variationen der Inklination auf einer gleichen Stufe der Genauigkeit zu beobachten, wie die der Deklination. Man schlägt, um sie zu erhalten den Umweg ein, sie aus denen der Horizontal- und Vertikalintensität zu berechnen. Letztere zu beobachten, ruft, wieder wegen störenden Einflusses der Schwere, große Schwierigkeiten hervor. Von allen Vertikalvariometern bewährte sich nur die magnetische Wage von Lloyd.

Man kann für einen mittleren Wert der Vertikalintensität einen mit Schneiden versehenen Magneten so aufstellen, daß er in Bezug auf die Resultante zwischen Schwere und Vertikalkraft wie eine Wage schwebt. Änderungen im Betrage der letzteren Kraft ändern die Neigung des Magneten. Die Empfindlichkeit hängt außer von der Entfernung namentlich vom Momente, aber auch von der Lage des Schwerpunktes in Bezug auf den Unterstützungspunkt ab.

13. Variometer, bei denen mittels Spiegel und Skala beobachtet wird, heißen solche mit „direkter Ablesung“. Neben ihnen existieren die registrieren-

den oder Magnetographen. Es ist klar, daß nur sie imstande sind, ununterbrochene Aufzeichnungen der Variationen zu geben. Die Variometer selbst sind die gleichen, wie oben; dagegen sind die Ablesefernrohre durch ein Uhrwerk ersetzt, das Walzen, die mit photographischem Papier belegt sind, in Umdrehung versetzt. Von einer Lampe gelangt ein feines Lichtbündel auf den Spiegel des Magneten, wird dort reflektiert und durch eine Linse vor der Walze punktförmig gemacht. Von einem anderen, festen Spiegel wird ebenfalls ein Lichtstrahl geworfen, der aber, da er unbeweglich ist, auf dem Papiere eine gerade Linie beschreibt. Sie heißt die „Basis“; von ihr aus werden, nachdem die Kurven entwickelt worden sind, die Variationen gemessen. Eine geeignete Vorrichtung verdeckt zur vollen Stunde den festen Punkt, so daß die Basis Lücken zeigt, nach welchen die Zeiten bestimmt werden.

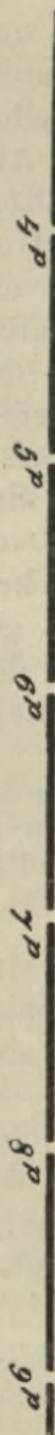
Fig. 1 zeigt ein Stück aus einer Registrierung der Deklination mit zugehöriger Basislinie. Da 1 mm in Höhe = 1 Bogenminute, so ist  $\delta$  um 5 Uhr Nachmittag gleich Wert der Basislinie plus 36.8 mm = 36.'8; also

$$\delta = 10^{\circ} 20' + 36.'8 = 10^{\circ} 56.'8.$$

14. Eine besondere Klasse bilden die Feinmagnetometer durch den außerordentlichen Spielraum, der ihrer Empfindlichkeit gegeben ist; sie sind außerdem leicht transportabel und sofort nach der Aufstellung arbeitsfähig, während die gewöhnlichen Variometer mehrere Monate brauchen, ehe sie den Einfluß der elastischen Nachwirkung ihrer Aufhängedrähte überwunden haben. Ihre Erfindung geschah durch Eschenhagen.

An einem Quarzfaden hängt ein leichter Magnet mit seinem Spiegel, zunächst, wenn ohne Torsion, im

Fig. 1



Meridian. Das Instrument arbeitet als Deklinometer. Durch Drehung des oberen Fadenendes kann man den Magneten ostwestlich stellen, d. h. das Instrument zu einem Horizontalintensitäts-Variometer machen. Hierzu gehört aber eine so große Torsion, daß eben die Empfindlichkeit eine sehr hohe wird, die man noch, gerade wie die des Deklinatorium, durch untergelegte kleine

Magnete steigern kann, die das magnetische Feld der Erde zum Teil überdecken. Statt daß, wie bei den üblichen Magnetometern, einem Millimeter  $\frac{1}{10000}$  der Horizontalintensität entsprechen, ist jetzt schon  $\frac{1}{1000000}$  erreicht.

Verwendet man gleichzeitig einen Registrierapparat mit erhöhter Umdrehungs-

geschwindigkeit, so ist man befähigt, die Variationen des Erdmagnetismus mit einer früher nicht erwarteten Genauigkeit zu verfolgen. Wir werden des öfteren auf die Resultate zu sprechen kommen, die man auf diesem Wege erhalten hat.

#### § 4. Das Beobachtungsmaterial; die magnetischen Observatorien.

15. Das erdmagnetische Beobachtungsmaterial ist ganz so entstanden, wie das meteorologische; wir finden zuerst nur gelegentliche Messungen, später organisierte, internationale Tätigkeit; ein besonderes Kennzeichen ist aber, daß schon von Anfang an irgend eine vorgegebene Frage durch planmäßiges Zusammenarbeiten einzelner Gelehrter, durch sogenannte Simultanbeobachtungen in Angriff genommen wurde. So hat schon 1673 Hevelius das Wesen der säkularen Variation durch ein solches Zusammengehen ergründen wollen. 1741 hatten Celsius in Upsala und Graham in London ausgemacht, bei nächster Gelegenheit verschärfte Beobachtungen der Variationen der Deklination an beiden Orten vorzunehmen, um den Einfluß des Nordlichtes auf den Erdmagnetismus zu erforschen. Allgemein bekannt dürfte sein, welche eine große Bereicherung unseres Wissens der von Gauß und Wilh. Weber begründete Magnetische Verein und die im Anschlusse hieran von A. v. Humboldt angeregte Errichtung magnetischer Observatorien herbeiführten. Daneben gehen, ebenfalls von Anfang an, zahlreiche wissenschaftliche Seereisen einher, bei denen erdmagnetische Beobachtungen eine große Rolle spielten. So seien aus den vielen Fahrten zur Auffindung der nordwestlichen und der nordöstlichen Durchfahrt nur

die Reisen erwähnt, die Roß zur Entdeckung des magnetischen Nordpoles führten und zur Aufsuchung des magnetischen Südpoles veranlaßten.

Trotzdem zeigten die schönen Resultate der Gaußschen Rechnungen, daß unsere Kenntnis des Erdmagnetismus immer noch recht lückenhaft war. Dies veranlaßte G. v. Neumayer, den Nestor geophysischer Forschung, es sich zu einer Lebensaufgabe zu machen, die magnetische Erforschung der Erde zu vervollständigen. Seinem Bestreben verdanken wir nicht nur, daß auf allen Forschungsreisen zu Land und Wasser der Erdmagnetismus einen wesentlichen Teil des Arbeitsplanes bildete, er ist auch der Organisator der beiden „Internationalen Polarjahre“ 1882/83 und 1902/03 gewesen. Ersteres Jahr bezweckte namentlich die magnetische Erforschung der Nordpolar-gegenden, letzteres, das ja zur Zeit noch nicht abgelaufen, die der Antarktis. Diese Gegend der Erde dürfte bis jetzt, so wichtig sie für die Theorie ist, die am wenigsten bekannte sein; aber auch der große Ozean, Australien und das Innere von Afrika sind wenig untersucht.

16. Die Brennpunkte erdmagnetischer Tätigkeit liegen in den erdmagnetischen Observatorien, deren erstes das 1833 von Gauß und Weber in Göttingen errichtete ist.

Die Aufgabe eines solchen ist es, für jeden Augenblick den Wert jeden Elementes des Erdmagnetismus anzugeben. Zur vollkommenen Lösung dieser Aufgabe bedarf es registrierender Variometer, deren „Basiswerte“ durch regelmäßige absolute Messungen dauernd überwacht werden. Dies gelingt am sichersten, wenn außer dem registrierenden noch ein System

von Magnetometern für direkte Ablesung aufgestellt, das täglich mit dem Registriersystem zu vergleichen ist. Nur ein Institut, das mit diesen Hilfsmitteln versehen ist, kann seine einzelnen absoluten Messungen miteinander vergleichen und so die Genauigkeit ermitteln, mit der sie übereinstimmen. Außer diesen „inneren“ Fehlern zwischen den Werten ein und desselben Observatoriums kann recht gut noch ein „äußerer“, ein dauernder Fehler vorhanden sein, weshalb die größeren Observatorien ihre Instrumente durch Vergleichsbeobachtungen sorgfältig aneinander anschließen.

Es gibt etwa 40 Observatorien, welche stündliche Werte aller Elemente veröffentlichen können, daneben ungefähr 20, die nur an einigen Tagesstunden ablesen, und eine Reihe nur vorübergehend aufgestellter, sogenannter „temporärer oder fliegender“ Observatorien. Die bekanntesten Observatorien dürften die zu Kew in England, Park St. Maur bei Paris, Pawlowsk bei Petersburg und Potsdam bei Berlin sein; sie haben mehr oder weniger den anderen als Vorbild gedient.

Die Observatorien sind die Stützpunkte der magnetischen Landesaufnahmen der Gebiete, in denen sie gelegen. Sie überwachen dauernd den magnetischen Zustand der Erde, und damit z. B. die für unsere Schifffahrt so wichtigen Karten der Linien gleicher Mißweisung der Nadel.

## Der permanente Magnetismus der Erde.

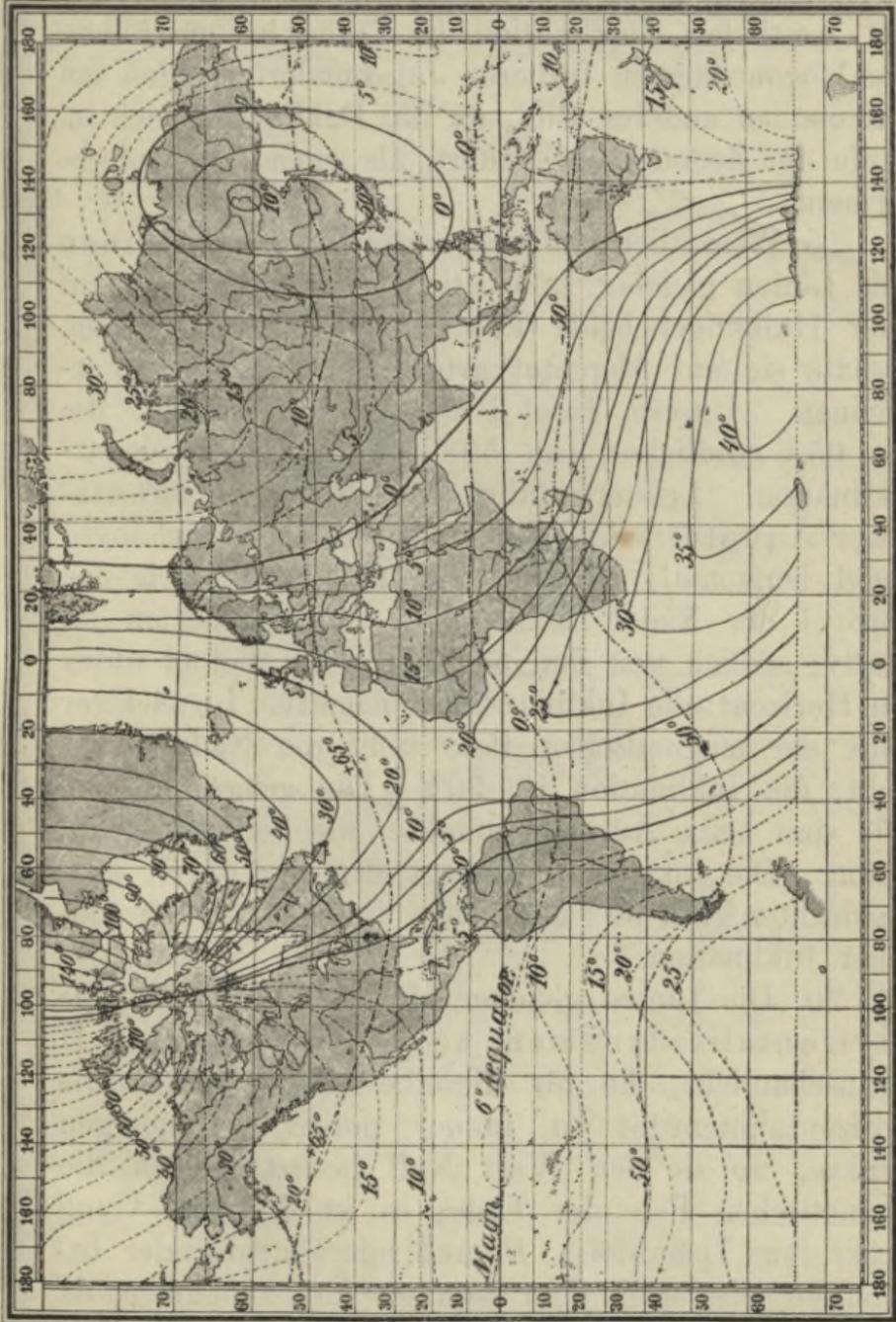
### § 5. Die räumliche Verteilung der Elemente.

17. Indem man die Orte auf der Erde, die gleiche Werte eines magnetischen Elementes besitzen,

durch Linienzüge verbindet, erhält man sogenannte isomagnetische Kurven. Karten, die sie darstellen, gelten stets für eine bestimmte Zeit, die Epoche.

18. Unsere Tafel I zeigt für den Beginn des Jahres 1900 das System der Isogonen, d. i. der Linien gleicher Deklination, auf einer Karte in Mercatorprojektion. Da die Deklination der Winkel zwischen dem geographischen Meridiane und der Magnetrichtung ist, so gibt es auf jeder Halbkugel zwei Punkte, durch die alle Isogonen hindurchgehen müssen. Dies sind zunächst die geographischen Pole. Hier stellt sich zwar der horizontal bewegliche Magnet in eine bestimmte Richtung ein; deren Unterschied gegen den Meridian können wir aber nicht angeben, da hier der Begriff Meridian keinen Sinn mehr hat. Es gehen eben alle Meridiane und daher auch alle Isogonen durch die beiden geographischen Pole. Es kann aber auch sein, daß die Deklination unbestimmt wird, weil der horizontale Anteil der erdmagnetischen Richtung Null wird, ein Magnet also jede beliebige Richtung gegen den geographischen Meridian beibehält, die man ihm gibt. Diese Punkte heißen die magnetischen Pole der Erde.

Die Karte zeigt von diesen ausgezeichneten Punkten nur den magnetischen Nordpol etwa unter  $70^{\circ}$  nördl. Breite und  $100^{\circ}$  westl. Länge von Greenwich. Die Deklination kann auf der Erde jeden Wert annehmen und ist am größten in der Nähe der Pole. Sie kann eine „östliche“ sein, wenn der Nordpol der Nadel nach Osten vom geographischen Meridiane abweicht, und eine „westliche“ im entgegengesetzten Falle. Die Gebiete östlicher und westlicher Deklination sind durch die Isogonen von  $0^{\circ}$  getrennt, die sogenannten Agonen,

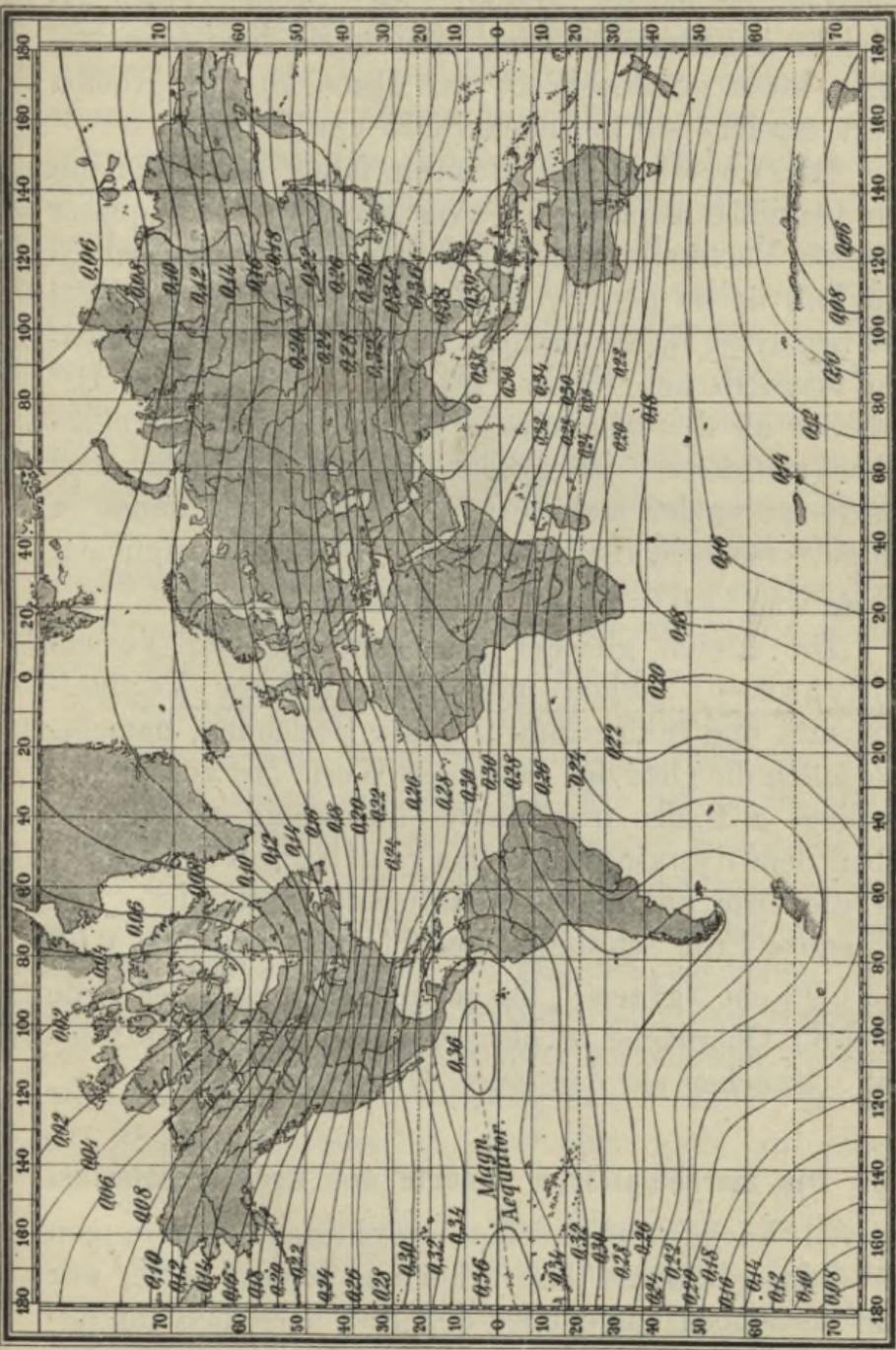


Tafel I. Isogonen und Isoklinen nach Neumayer. Gültig für die Epoche 1900,0.  
 — Linien gleicher westlicher, ..... Linien gleicher östlicher Deklination;  
 - - - - - Linien gleicher Inklination.

deren es zwei gibt, wovon die eine eiförmig ein Gebiet westlicher Deklination in Ostasien umschließt. Die Isogonenkarten früherer Jahrhunderte zeigen ein vollkommen anderes Bild, da die Deklination sich im Laufe der Zeiten mehr ändert, als irgend ein anderes Element.

19. Wesentlich einfacher verlaufen die Isoklinen oder Linien gleicher Inklination. Sie umrahmen auf jeder Halbkugel beide Pole in eiförmigen Figuren, weshalb sie auf Mercatorkarten als Wellenlinien erscheinen. Unsere Tafel I zeigt drei Isoklinen: die von  $65^{\circ}$  nördlicher, von  $50^{\circ}$  südlicher und von  $0^{\circ}$  Inklination. Letztere führt den Namen magnetischer Äquator. Auf ihm steht die frei aufgehängte Nadel horizontal; nördlich von ihm senkt sich der Nordpol der Nadel nach unten: die Inklination ist positiv; südlich von ihm neigt sich der Südpol unter den Horizont: die Inklination ist negativ. In nächster Nähe der magnetischen Pole steht die Nadel senkrecht, die Inklination ist  $90^{\circ}$ . Die geographischen Pole sind keine Ausnahmepunkte, wie bei der Deklination. Die Inklination bewegt sich nur durch zwei Quadranten, von  $90^{\circ}$  nördlicher über  $0^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  südlicher Inklination.

20. Die Linien gleicher Horizontalintensität, die Horizontalisodynamen, werden durch die Tafel II veranschaulicht, die für dieselbe Epoche gilt. Die Horizontalintensität ist immer positiv. Diejenigen Punkte, wo sie den Wert Null besitzt, heißen die magnetischen Pole der Erde; es ist dies seit Gauß direkt ihre Definition.  $H$  muß mit abnehmender Inklination, also nach dem Äquator hin, zunehmen, da die Richtung des Erdfeldes immer mehr sich der



Tafel II. Isodynamen der Horizontalintensität nach Neumayer. Gültig für die Epoche 1900,0.  
(In C. G. S.-System.)

Horizontalen nähert. Längs einer in der Tafel gestrichelt angedeuteten Linie nimmt sie für jeden Meridian ihren größten Wert an. Ihren absolut größten Wert erreicht sie zwischen Siam und Borneo.

Die Vertikalisdynamen fallen fast ganz mit den Isoklinen zusammen. Am magnetischen Äquator muß die Vertikalintensität offenbar Null sein; nördlich von ihm ist sie positiv, südlich negativ. Ihr positives und negatives Maximum liegt in der Nähe des betreffenden magnetischen Poles. Das letztere, ungefähr  $10^0$  östlicher als der magnetische Südpol und kaum nördlicher als dieser, ist größer als das nördliche, das seinerseits wieder mehr ( $10^0$ ) in Breite und kaum in Länge verschieden ist von seinem Pole. Die bezüglichen Werte sind  $-0.674$  und  $+0.634 \text{ cm}^{-\frac{1}{2}} \text{ g}^{\frac{1}{2}} \text{ sec}^{-1}$ .

Die Linien gleicher Totalintensität, die Totalisdynamen, stehen mit denen gleicher Vertikalintensität und Inklination in enger Beziehung, namentlich fallen die Orte der extremen Werte fast zusammen. So liegt z. B. der isoklinische nur wenig verschoben neben dem dynamischen magnetischen Äquator, der die Orte kleinster Totalintensität verbindet. Für die ganze Erde schwankt dies Element zwischen  $0.69$  und  $0.29 \text{ cm}^{-\frac{1}{2}} \text{ g}^{\frac{1}{2}} \text{ sec}^{-1}$ , das magnetische Feld der Erde an ihrer Oberfläche ist also etwa 20 000- bis 100 000-mal schwächer als das einer Dynamomaschine.

## § 6. Die mathematische Theorie des Erdmagnetismus.

21. Nachdem man schon verschiedene Äußerungen der erdmagnetischen Kraft kennen gelernt hatte, war man doch noch lange über den Sitz derselben im unklaren. Neben der Anschauung, sie sei rein kosmi-

schen Ursprungs, ging die andere her, die an den geographischen Polen starke Magnetberge vermutete. Die Abweichung der Kompaßrichtung vom wahren Nord zwang bald dazu, eigene magnetische Erdpole anzunehmen, die mit den geographischen nicht zusammenfallen. Diese Vorstellung eröffnete den Weg zu einer mathematischen Behandlung der Deklinationsverteilung über die Erde, und es war der bekannte Geograph G. Mercator, der ihn — um die Mitte des 16. Jahrhunderts — zuerst beschritt. Unter der Annahme, es gäbe auf jeder Hemisphäre nur einen magnetischen Pol, lehrte er, aus Deklinationsbeobachtungen an nur zwei Orten die Lage dieser Pole zu berechnen. Kepler zeigte des weiteren, wie man so für jeden Ort die Deklination berechnen könnte. Beider Forscher Verfahren setzt voraus, daß die Isogonen größte Kreise sind, was nicht der Fall ist (vgl. 18).

Gilberts 1600 erschienenes bedeutsames Werk über den großen Magneten „Erde“ spricht den wichtigen Satz zuerst aus, daß der Sitz der beobachteten magnetischen Kräfte der Erde in deren Mittelpunkt zu suchen ist. Nunmehr folgen eine Reihe von Arbeiten, die die erdmagnetischen Erscheinungen durch sogenannte „Zentralmagnete“ zu erklären versuchen. Die bedeutsamsten sind hier die von Halley und Hansteen, die auf jeder Hemisphäre je zwei magnetische Pole annehmen, und die Untersuchung von H. Euler, der nur ein Polpaar voraussetzt, das aber nicht auf einem Erddurchmesser liegt.

22. So war der Stand der Dinge, als das Thema von Gauß in Angriff genommen wurde, um durch ihn eine Gestaltung zu empfangen, wie sie durchgebildeter nicht zu erdenken wäre.

Gauß hatte gezeigt, daß zwei magnetische Mengen sich umgekehrt proportional mit dem Quadrate ihrer Entfernung anziehen. Befindet\*) sich in einem Punkte mit den rechtwinkligen Koordinaten  $abc$  die magnetische Menge  $\mu$ , so übt sie diesem Gesetze zufolge in einem Punkte  $xyz$ , der die Menge Eins enthält, eine Kraft  $K = \frac{\mu}{\varrho^2}$  aus, wo die Entfernung  $\varrho$  gegeben ist durch

$$\varrho = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}.$$

Diese Wirkung liegt in der Verbindungslinie, also längs  $\varrho$ . Längs einer anderen Richtung  $l$  wirkt demnach nur ein Betrag  $K_l = K \cos(\varrho, l)$ , wo  $(\varrho, l)$  den Winkel der Richtung  $\varrho$  gegen die Richtung  $l$  bedeutet. Wählt man der Reihe nach  $l$  so, daß es mit den Koordinatenachsen, also  $X, Y, Z$ , zusammenfällt, so ist der Kosinus des betreffenden  $(\varrho, l)$  der Reihe nach  $\frac{x-a}{\varrho}$ ,

$\frac{x-b}{\varrho}$ ,  $\frac{x-c}{\varrho}$ . Also der Reihe nach

$$K_x = \mu \frac{x-a}{\varrho^3}; \quad K_y = \mu \frac{y-b}{\varrho^3}; \quad K_z = \mu \frac{z-c}{\varrho^3}.$$

Wie man leicht finden wird, sind dies aber die nach  $dx, dy, dz$  genommenen Differentialquotienten „ein und derselben“ Funktion  $\frac{\mu}{\varrho}$ .

Dies wäre die Wirkung eines magnetischen Punktes in  $abc$ . Die Gesamtwirkung aller magnetischen Punkte der Erde auf den Beobachtungsort er-

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 78, Theoretische Physik III, § 24 u. ff.

hält man, wenn man alle  $\frac{\mu}{\varrho}$  addiert. Da deren unendlich viele sind, stellt

$$(1) \quad V = \int \frac{d\mu}{\varrho}$$

diejenige Funktion dar, von welcher der Differentialquotient nach irgend einer Richtung die erdmagnetische Kraft in dieser Richtung gibt. Eine solche Funktion, die diese Eigenschaft hat, nannte Gauß später ein „Potential“; wir sprechen daher von einem Potential des Erdmagnetismus.

Mithin sind die drei Komponenten des Erdmagnetismus

$$(2) \quad X = -\frac{dV}{dx}; \quad Y = -\frac{dV}{dy}; \quad Z = -\frac{dV}{dz}.$$

Ganz allgemein ergibt sich nachstehende Übersicht über den Zusammenhang der Elemente:

$$(3) \quad \begin{aligned} H &= \sqrt{X^2 + Y^2}; \quad T = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{H^2 + Z^2}; \\ X &= H \cos \delta; \quad Y = H \sin \delta; \quad Z = H \operatorname{tg} i; \\ \operatorname{tg} i &= \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}; \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{Y}{X}. \end{aligned}$$

Nun müßten wir, um das Potential  $V$  berechnen zu können, die Verteilung der  $d\mu$  in der Erde, d. h. diejenige des Magnetismus in unserem Planeten kennen. Hierüber wissen wir aber nichts. Uns ist es allein gegeben, die Verteilung der Elemente über die Erdoberfläche zu ermitteln. Es ist die Hauptleistung der Theorie von Gauß, gezeigt zu haben, daß und wie man ohne Kenntnis der Verteilung des Magnetismus in der Erde und ohne irgend welche Hypothese über Zentralmagnete oder derlei Annahmen, lediglich aus

den isomagnetischen Liniensystemen das Potential auf jeden Punkt ihrer Oberfläche oder des Außenraumes berechnen kann.

23. Führt man statt der rechtwinkligen Koordinaten  $x$  und  $y$  die geographische Länge  $\lambda$  und das Komplement  $u$  der Breite und den Erdradius  $R$  ein, so werden nach (2) jetzt

$$(4) \quad X = \frac{dV}{Rdu}; \quad Y = - \frac{dV}{R \sin u d\lambda}.$$

$X$  und  $Y$  sind also voneinander in Abhängigkeit. Diese drückt Gauß durch die Sätze aus: „Ist die Nordkomponente des erdmagnetischen Feldes für die ganze Erdoberfläche bekannt, so kann man die östliche Komponente ohne weiteres berechnen“; und weiter: „Ist die Ostkomponente für die ganze Erdoberfläche bekannt und außerdem für eine Kurve von Pol zu Pol die nördliche, so läßt sich die letztere auch für alle übrigen Punkte berechnen.“

24.  $V$ , das Potential, erscheint nun in der Praxis als eine sogenannte „willkürliche“ Funktion entweder von  $xyz$  oder von  $\lambda, u$  und  $r$ , wo  $r$  die Entfernung vom Erdmittelpunkte bedeute. Bei der Behandlung solcher Funktionen bedient man sich der Darstellung durch Reihen. Gauß macht daher den Ansatz

$$(5) \quad V = \frac{R^3}{r^2} P' + \frac{R^4}{r^3} P'' + \dots + \frac{R^n}{r^{n-1}} P^{(n-2)} = \int \frac{d\mu}{\rho},$$

worin die  $P^{(n)}$  bestimmte Funktionen der sphärischen Koordinaten  $\lambda$  und  $u$  sind, die dieselbe Natur besitzen, wie  $V$  selbst. Ihre Abhängigkeit von  $\lambda$  und  $u$  ist durch

$$(6) \quad P^{(n)} = g^{n,0} P^{n,0} + \sum_{m=1}^n (g^{n,m} \cos m\lambda + h^{n,m} \sin m\lambda) P^{n,m}$$

gegeben, worin die  $g$ - und  $h$ -Werte Zahlgrößen sind,

die aus den Beobachtungen berechnet werden und den Namen der „Elemente der Theorie des Erdmagnetismus“ führen. Die  $P^{n,m}$  heißen „Kugelfunktionen“. Es würde viel zu weit führen, hier näher auf das Wesen der Kugelfunktionsdarstellung einzugehen (vgl. Literaturverzeichnis); es muß genügen, zu betonen, daß aus den Beobachtungen für jedes  $P^{(n)}$  die Größen  $g^{n,m}$  und  $h^{n,m}$  erhalten werden und daraus nach (5) das Potential. Nunmehr kann man die Gleichungen (2) berechnen; sie ergeben sich jetzt in der Gestalt

$$(7) \quad \begin{aligned} X &= \sum \frac{R^{n+2}}{r^{n+2}} \frac{dP^{(n)}}{du}; & Y &= -\frac{1}{\sin u} \sum \frac{R^{n+2}}{r^{n+2}} \frac{dP^{(n)}}{d\lambda}; \\ Z &= \sum \frac{R^{n+2}}{r^{n+2}} (n+1) P^{(n)} \end{aligned}$$

für irgend einen Punkt im Außenraum. Auf der Erde, wo  $R=r$ , werden sie

$$(8) \quad \begin{aligned} X &= \sum \frac{dP^{(n)}}{du}; & Y &= -\frac{1}{\sin u} \sum \frac{dP^{(n)}}{d\lambda}; \\ Z &= -\sum (n+1) P^{(n)}. \end{aligned}$$

Da immer dasselbe  $P^{(n)}$  in allen dreien Komponenten auftritt, so kann man aus dem Potentiale auf der Erdoberfläche, wie oben schon erwähnt, das im ganzen Außenraume berechnen. Nach den Sätzen des Abschnitts 23 ist hierzu nicht einmal die Kenntnis beider Komponenten nötig. Neu kommt hinzu, daß die Kenntnis von  $Z$  allein ebenfalls zur Berechnung von  $V$  ausreicht.

25. Dies sind die Hauptgrundideen der Gaußschen Theorie. Ihr Schöpfer war auch der erste, der sie an Hand der Erfahrung prüfte, indem er aus den zu seiner Zeit vorhandenen magnetischen Karten für 7 Breitenkreise die Werte für je 12 gleichweit ab-

stehende Punkte entnahm. Er dehnte die Rechnung bis zum Gliede vierter Ordnung aus, womit man 24 Koeffizienten  $g^{n,m}$   $h^{n,m}$  zu berechnen hat.

Da Gauß mit Recht sein Material für ein noch zu dürftiges ansah, machte er keinen Gebrauch von seinen Sätzen über den Zusammenhang der Elemente untereinander; auch betrachtete er die Erde als Kugel und nicht als Ellipsoid und ließ die Möglichkeit, daß nicht aller Magnetismus innerhalb der Erde, bei der Berechnung außer Betracht.

Die Ergebnisse sind in aller Kürze folgende. Die Erde hat nur zwei magnetische Pole, je einen auf jeder Halbkugel, und zwar lag der magnetische Nordpol zur Epoche 1830, für die die Rechnung gilt, unter  $73^{\circ} 35'$  nördl. Breite und  $264^{\circ} 21'$  östl. Länge von Greenwich, der Südpol unter  $72^{\circ} 35'$  südl. Breite und  $152^{\circ} 30'$  östl. Länge; beide liegen also nicht auf einem Durchmesser der Erde. Sie ist dagegen um eine Achse magnetisiert, die parallel einem Erddurchmesser ist, der die Erdoberfläche in den Punkten  $77^{\circ} 55'$  nördl. Breite,  $296^{\circ} 29'$  östl. Länge und  $77^{\circ} 50'$  südl. Breite,  $116^{\circ} 29'$  östl. Länge schneidet. Das magnetische Moment um diese Achse ist  $0.33092 R^3$ . Dies würde für jeden Kubikmeter der Erde acht einpfündige bis zur Sättigung magnetisierte Stahlstäbe verlangen. Die Linien gleichen Potentials auf der Erdoberfläche haben ähnliche Gestalt, wie diejenigen der Vertikalintensität und der Inklination; sie sind also keine Kreise. Dies müßten sie aber sein, wenn Zentralmagnete die Ursache des Erdmagnetismus wären. Trotzdem muß der überwiegende Teil der Kräfte innerhalb der Erdrinde gelegen sein.

26. Indem Gauß derart seine Theorie auch er-

probte, konnte er dartun, daß sie ein geeignetes Fundament für die weitere Forschung vorstellt. Nun war es die wichtigste Aufgabe, neues und besseres Beobachtungsmaterial zu erhalten (vgl. 15). Nachdem dies sich wesentlich vermehrt hatte, war auch die Gelegenheit geboten, eine Reihe von Umständen zu berücksichtigen, die Gauß sich entschloß vorerst außer acht zu lassen, so die Abplattung der Erde und die Frage, ob nicht auch außerhalb des Erdkörpers magnetische Kräfte bestehen. Man konnte die Rechnung nun auch auf mehr Werte stützen und höhere Glieder in Berücksichtigung ziehen, namentlich da die Methodik der Berechnung sich wesentlich vereinfacht hat. Die bekanntesten dieser Berechnungen (die volle Liste siehe im Literaturverzeichnis) sind die von Neumayer-Petersen, auf denen die magnetischen Karten des Berg-hausschen Physikalischen Atlas beruhen, und diejenige von Ad. Schmidt.

27. Schmidt nimmt an, es bestände ein System innerer Kräfte, das ein Potential  $V_i$  besitzt, daneben ein System äußerer Kräfte, ebenfalls mit einem Potential  $V_a$ , und ein System ohne Potential.

Denkt man sich die äußeren Kräfte auf einer Kugelschale verteilt, so ist, ähnlich wie in Formel (5),

$$(9) \quad V_a = Rp^0 + rp' + \frac{r^2}{R}p'' + \frac{r^3}{R^2}p''' + \dots + \frac{r^n}{R^{n-1}}p^{(n)}$$

und  $X_a$  und  $Y_a$  sind auf der Erde

$$(10) \quad X_a = \sum \frac{dp^{(n)}}{du}; \quad Y_i = -\frac{1}{\sin u} \sum \frac{dp^{(n)}}{d\lambda}.$$

$Z_a$  aber wird

$$(11) \quad Z_a = \sum np^{(n)},$$

der Unterschied gegen die Formeln (8) besteht also

darin, daß  $Z_a$  das umgekehrte Vorzeichen hat als  $Z_i$ . Gauß zeigte, wie man mit Hilfe dieses Umstandes innere und äußere Kräfte trennen kann, eine Aufgabe, die Schmidt auch tatsächlich löste. Er zeigte, daß etwa  $\frac{1}{10}$  der erdmagnetischen Kräfte äußeren Ursachen zugeschrieben werden kann. Als Quelle eines solchen äußeren Feldes sah schon Gauß galvanische Ströme an, welche in der Atmosphäre oder im Außenraum fließen könnten, obwohl es ihm nicht klar war, wie sie hier existieren können, da doch der Raum wie die Luft keine elektrische Leiter seien. Immerhin aber gab er die Möglichkeit zu, da doch ein unleugbarer Zusammenhang zwischen Erdmagnetismus und Nordlicht bestände, dies aber doch wohl „bewegte Elektrizität“ zu sein scheine. Gauß hat, wie so oft, auch diesmal den Kenntnissen seiner Zeit weit voraus das Richtige vermutet, wie wir in der Folge sehen werden.

### § 7. Vertikale elektrische Ströme.

28. Bis jetzt war stets die Annahme gemacht, die rechtwinkligen Komponenten des Erdmagnetismus seien die Differentialquotienten von ein und derselben Funktion, eben vom Potential. Wir kennen aber auch magnetische Kräfte ohne Potential.\*) Wir wissen, daß ein elektrischer Strom von einem magnetischen Felde umgeben ist. Für alle Punkte im Raum mit Ausnahme derjenigen, durch die der Strom selbst hindurchfließt, besteht ein Potential, nicht aber für solche Punkte. Auch hier ist es wieder Gauß, der zeigt, wie man solche magnetische Felder nachweisen kann.

---

\*) Für das Folgende vergleiche Sammlung Göschen No. 78, II. Aufl. S. 91 ff.

Gibt es ein Potential, so ist die Kraftkomponente in einer Richtung  $l$  (vgl. 22)  $K_l = -\frac{dV}{dl}$ , folglich

$$(12) \quad dV = -K_l dl;$$

die Arbeit, die zu leisten ist, um von einem Punkte 1 nach einem Punkte 2 zu gelangen, ist

$$(13) \quad \int_1^2 dV = V_2 - V_1.$$

Gleiches gilt, wenn man von 2 nach 3, 3 nach 4 u. s. w. geht. Kommt man schließlich auf 1 zurück, durchläuft demnach eine geschlossene Kurve, so ist

$$(14) \quad \int dV = -\int K_l dl = 0.$$

Es ist  $K_l = K \cos(K, l)$ , so daß unser Integral lautet

$$(15) \quad \int K \cos(K, l) dl = 0.$$

$K$  ist in diesem Falle die Horizontalintensität,  $(K, l) = \vartheta$  das Azimut des Kurvenelements  $dl$ , so daß bestehen muß

$$(16) \quad \int H \cos \vartheta dl = 0,$$

falls das erdmagnetische Feld nur Kräfte enthält, die ein Potential besitzen. Ergibt sich jedoch ein von Null verschiedener Wert, so kann ein elektrischer Strom vorhanden sein, der die Fläche der Kurve senkrecht durchsetzt. Dann ist aber

$$(17) \quad \int H \cos \vartheta dl = 4\pi i,$$

wo  $i$  die Stromstärke des betreffenden Stromes. Da die Senkrechte auf die Erdoberfläche die Richtung bestimmt, heißen diese Ströme vertikale Erdluftströme.

Seit der Berechnung von Schmidt, der allerdings ein etwas anderes Verfahren einschlug, nehmen die Untersuchungen über die Vertikalströme eine beträchtliche Zahl bewährter Forscher in Anspruch. Die ersten

praktisch durchgeführten Integrationen waren solche über ganze Breitenkreise; sie ergaben einen von Null erheblich verschiedenen Wert, von dem man aber nicht weiß, inwieweit er von der ungleichen Verteilung der Beobachtungen über einen derartigen Kreis beeinflusst ist. Später integrierte man über sphärische Trapeze, aus Längen- und Breitenkreisen gebildet. Je bekannter in magnetischer Richtung das umschlossene Gebiet war, desto kleiner war das Resultat. Für Europa findet v. Bezold den Wert 0.00081, für Österreich-Ungarn berechnet Liznar 0.0000046, so daß die Verschiedenheit von Null lediglich auf Beobachtungsfehler oder, besser gesagt, auf mangelhafte Berücksichtigung der Variationen bei der Reduktion auf die Epoche zurückzuführen ist. Es existiert kein für uns bis jetzt meßbarer Anteil am erdmagnetischen Feld, der ohne Potential ist. Wir werden später sehen, daß wir trotzdem bei manchen erdmagnetischen Erscheinungen auf einen Elektrizitätsfluß in der Vertikalen hingewiesen werden, nämlich bei den Variationen, dem Erdstrome und den Polarlichtern. Für das permanente Feld scheint dagegen zu gelten, daß die Summe der einströmenden und ausströmenden Elektrizität für alle Orte in jedem Moment dieselbe ist. Der mittlere elektrische Zustand der Erde erhält sich gerade so, wie der mittlere Wärmezustand.\*)

### § 8. Der normale und anormale Magnetismus der gesamten Erde.

29. Aus dem Verlaufe der erdmagnetischen Kurvensysteme und aus den verhältnismäßig großen Werten der

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 114, Klimalehre § 7.

Gaußschen Koeffizienten höherer Ordnung geht hervor, daß die Magnetisierung der Erde keine gleichmäßige ist (vgl. 25). Es lag aber die Vermutung nahe, in ihr sei ein regelmäßiger Teil verborgen, den nur ein störender Anteil überlagert.

Daher führten mehrere Forscher in Anlehnung an die Untersuchung der Verteilung der Lufttemperatur\*) den Begriff der „Anomalie“ ein. So bildete v. Bezold für jeden Breitenkreis das Mittel des Potentials und für jeden Ort die Abweichung vom Mittel seines Breitenkreises, eben die Anomalie des Ortes. Er zog ferner Linien, die Orte gleicher Anomalie verbinden, und gab die Theorie dieser Isanomalien des erdmagnetischen Potentials, eine der wenigen Ausdehnungen der Gaußschen Theorie, die in ihr selbst noch nicht angedeutet war. Für die Mittel der einzelnen Breitenkreise ergab sich der überraschende Satz, daß sie gleich  $\frac{g^{10}}{R} \sin \beta$ . Hierin ist  $R$  der Erdradius,  $\beta$  die Breite,  $g^{10}$  aber der erste Koeffizient des ersten Gliedes ( $P'$ ) der Gaußschen Reihe (Formel 6). Dies besagt: so unregelmäßig auf den ersten Blick hin die Verteilung erscheint, enthält sie in der Hauptsache dennoch einen regelmäßigen Anteil, dessen Achse mit dem Rotationsdurchmesser der Erde parallel ist.

Berücksichtigt man, wie L. A. Bauer, das ganze Glied  $P'$ , so stellt dieses den gesamten normalen Magnetismus der Erde vor, die Abweichungen von ihm den anormalen.

30. Der normale Anteil\*\*) des erdmagnetischen

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, Meteorologie, Fig. 21.

\*\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 78, 2. Aufl., S. 62.

Feldes entspricht daher einer gleichmäßig magnetisierten Kugel, deren Achse einem Durchmesser der Erde parallel ist, der unter  $78^{\circ} 34' 3$  nördl. Breite und  $68^{\circ} 30' 6$  westl. Länge ihre Oberfläche durchschneidet. Das magnetische Moment dieses Anteiles ist  $0.32298 R^3$ , also der Hauptanteil des gesamten Feldes. Seine isomagnetischen Linien sind Kreise, nur die Isogonen bilden eine Ausnahme, da sie durch alle vier Pole hindurchgehen.

31. Der Inbegriff aller übrigen Glieder der Gaußschen Reihe stellt das anormale Feld vor; es ergibt sich als ein recht vielgestaltiges, indem nicht weniger als acht Pole auftreten. Es liegt nahe, daß man die Ursache für das Bestehen einer anormalen Magnetisierung in der Verteilung von Wasser und Land sucht. Und in der Tat ergibt sich ein Zusammenhang. So ist der große Ozean und Australien schwach, Afrika und Europa stark südmagnetisch, dagegen Nordamerika schwach, der Südatlantik und China stark nordmagnetisch. Mehr als die Oberflächengestaltung scheint aber die Verteilung der Lufttemperatur dem Wesen nach die Ursache zu sein, indem ausnahmslos die für ihre Breitenlage zu warmen Gegenden südmagnetisch, die zu kalten nordmagnetisch sind. Die Erde verhält sich hier ganz wie ein Stahlmagnet, der, erwärmt, ebenfalls schwächer magnetisch wird. Da jedoch auch für das anormale Feld die Ursache der Kräfte innerhalb der Erdrinde zu suchen, so dürfte das schließlich Maßgebende die Erdbodentemperatur sein.

## § 9. Erklärungsversuche des Wesens des permanenten Erdmagnetismus.

32. Die Zahl der Hypothesen über das Wesen des Erdmagnetismus ist eine große und wuchs mit unserer fortschreitenden Erkenntnis über das Wesen des Magnetismus selbst und der Elektrizität. Im Vordergrund stehen die beiden Möglichkeiten, daß die Erde ein permanenter Magnet gleich einem Stahlmagneten, oder daß ihr Feld ein elektromagnetisches ist.

33. Erstere Vorstellung verlangt eine außerordentlich starke Magnetisierung. Die beträchtliche Größe des anormalen Feldes würde entweder bedingen, daß die magnetisierte Materie nahe an der Oberfläche liegt, oder aber, daß das Erdinnere stärker magnetisierbar als Stahl, und daß die Unregelmäßigkeiten dieses Innenfeldes noch größer sind, als sie an der Erdoberfläche zur Beobachtung kommen. Letzteres ist unwahrscheinlich, weil der Aufbau des Erdkörpers nach dem Mittelpunkte zu eher regelmäßiger wird, als umgekehrt. Wir wissen ferner, daß das Erdinnere so heiß ist, daß jeder uns bekannte irdische Körper die Fähigkeit verliert, magnetisch zu sein. Schließlich wissen wir, daß alle die Erdrinde zusammensetzenden Bestandteile nicht so stark magnetisierbar sind, daß sie die Größe des Erdfeldes zu stande bringen können. Andererseits ist der Einfluß der Festländer d. h. der Erdrinde ein so deutlicher, daß sie der Sitz eines wesentlichen Anteils sein muß.

34. Allen diesen Schwierigkeiten begegnet man, denkt man sich das magnetische Feld durch elektrische Ströme erzeugt, die dann annähernd von Ost nach West fließen müssen. Ihr Stromweg bildet die Erd-

rinde, und schon ein ganz schwacher Strom genügt, alle Beobachtungen quantitativ zu befriedigen. Die von stetem Grundwasser durchtränkten Landmassen stellen bei weitem bessere Leiter vor als das Meer und bedingen die unregelmäßige Verteilung des Erdmagnetismus, da sie die Ostwestströme nach der Seite ablenken. Das normale Feld wird durch alle Stromkomponenten in der Richtung der Parallelkreise der normalen magnetischen Achse dargestellt. Denkt man sich dieses Feld aus dem gesamten ausgeschieden, so ist das anormale durch ein System von Strömen dargestellt, die jede größere Ländermasse längs ihrer Peripherie in einem Sinne, umgekehrt jener der Uhrzeigerbewegung, jede Wasserfläche längs ihrer Begrenzung in entgegengesetzter Richtung umlaufen. Diese Ströme lassen sich durch Kreisströme ersetzen, wovon jeder bestrebt ist, die Achse des normalen Feldes senkrecht zu sich zu stellen. Dies erklärt die Schiefe von  $11.05$ , die die magnetische Achse gegen diejenige der Rotation einnimmt. Die Nachteile dieser Erklärung sind, daß die Erzeugung und dauernde Erhaltung solcher Ströme unserem Verständnisse neue Schwierigkeiten in den Weg legt. Hier greifen die neuesten Ideen über das Wesen des elektrischen Stromes ein. Danach sieht man ihn als eine Verschiebung der Elektrizität in einem Leiter an. Ist dem so, so muß dieselbe Wirkung erzielt werden, einerlei ob der Leiter ruht und der Äther sich in ihm bewegt, oder der Äther ruht und der Körper in Bewegung. Die stetigen von Ost nach West fließenden Ströme wären hiernach einfach darauf zurückzuführen, daß die Erde im Äther rotiert. Der Vorzug dieser Hypothese vor vielen anderen ist der, daß sie dem Experiment zugänglich.

Die Annahme elektromagnetischer Natur des erdmagnetischen Feldes verlangt der rein magnetischen gegenüber unseren Laboratoriumserfahrungen mehr entsprechende Voraussetzungen und erklärt die Erscheinungen (nicht nur des permanenten Magnetismus) einfacher als diese. Da aber viele irdische Körper tatsächlich dauernd oder vorübergehend magnetisierbar sind, so müssen sie unter der steten Einwirkung der Ströme in ihrer Gesamtheit der Erde auch einen induzierten permanenten Magnetismus verleihen, wie das Folgende zeigen wird.

### § 10. Lokale und regionale Anomalien.

35. Die Koeffizienten der Gaußschen Reihen, wie sie von den verschiedenen Berechnern erhalten wurden, geben alle nur in den großen Zügen die Verteilung des Erdmagnetismus wieder; in enger begrenzten Gebieten können sich erhebliche Abweichungen herausstellen. Man nennt solche Gebiete ebenfalls Anomalien, besser aber Störungsgebiete und unterscheidet regionale und lokale, je nach der Ausbreitung der Störung.

Solche Störungsgebiete zeigten sich bis jetzt fast in jedem einer magnetischen Landesaufnahme unterworfenen Gebiete. Sie sind demnach recht häufig, und da der Betrag der Störung oft sehr beträchtlich ist, so ist ihre genaue Kenntnis notwendig, namentlich da, wo es sich um Orientierung nach dem Kompaß handelt, also in erster Linie auf See, aber auch auf dem Lande.

36. Die größte bekannte Anomalie liegt im Gouvernement Kursk in Rußland. Während dort

eine Deklination von  $0-8^{\circ}$  Ost und eine Inklination von  $68^{\circ}$  normal ist, findet man Werte des ersteren Elementes von  $96^{\circ} 32'$  westlich bis  $34^{\circ} 2'$  östlich auf wenige hundert Meter Entfernung. Dem ersten Orte entspricht eine Inklination von  $72^{\circ} 2'$ , dem zweiten eine von  $55^{\circ} 22'$ ; es kommen sogar wahre magnetische Pole vor, wo die Inklinationsnadel senkrecht steht. Aus der Störung in der Richtung des Feldes kann man noch nicht die Größe der störenden Kraft ermitteln; eine kleine nahe Kraft hat denselben Einfluß wie eine entfernte starke. Allein auch die Intensität ist in Kursk gewaltig gestört. Statt des normalen Wertes 0.21 für die horizontale und 0.43 für die vertikale Intensität, treffen wir z. B. an obigen beiden Orten die Werte an  $H = 0.2180$  bzw. 0.5799 und  $Z = 0.6723$  und 0.8396. An letzterem Orte ist die Totalintensität 1.0204, also ist das Feld der Anomalie in Kursk stärker als das der magnetischen Erdpole. An Flächenraum ist das gestörte Gebiet größer als etwa die Provinz Brandenburg.

Nicht so gewaltig an Ausdehnung ist die Anomalie der Insel Jussarö im Finnischen Meerbusen, dafür aber von einem traurigen Rufe in der Geschichte der Seeschifffahrt. Sie hat schon viele Opfer an Gut und Menschenleben gefordert, solange sie noch nicht genügend magnetisch erforscht war. Heute stehen dem Schiffer Seekarten zur Verfügung, die ihm die genauen Isogonen angeben, damit er sich nicht durch die anormale Kompaßrichtung täuschen lasse. Die Ursache der Anomalie ist hier der starke Eisen-gehalt des Gesteins. Auch in Kursk sind es Eisen-lager, die als Störungsherd zu betrachten sind. Da Bohrungen, obwohl sie schon über 2 km tief gehen,

sie noch nicht aufgefunden haben, müssen sie eine unerwartet große Mächtigkeit besitzen.

Größere Anomalien zeigen sich auch stets in Gegenden, wo plutonische Gesteinsmassen an der Zusammensetzung der Erdrinde beteiligt sind. Solche Anomalien sind stärker magnetisch, als es ihrer geographischen Lage entspricht. Namentlich Basalt und Granit, aber auch eine ganze Reihe anderer Eruptivgesteine, sind gegenüber den Sedimenten stark magnetisierbar und werden durch Induktion durch den Erdmagnetismus magnetisiert. Zudem sind sie, namentlich wenn sie erzführend sind, bessere Leiter für die Erdströme, so daß ihre störende Wirkung auf das normale Feld sich leicht erklärt.

Demgegenüber stehen die Anomalien in Gegenden, wo die geologische Aufnahme Hohlräume festgestellt hat. Hier ist es die Abwesenheit von magnetisierbarem Gestein, welche den Magnetismus der Gegend im Verhältnis zu dem normalen verkleinert. Eine solche Anomalie durchzieht Nordfrankreich; die größte der wenigen bis jetzt gefundenen liegt in Labrador.

37. Da die Masse des Gesteins nicht nur für die magnetische Wirkung maßgebend ist, sondern auch für die Größe jener Kraft, die das aufgehängte Lot von der Senkrechten abzieht, so muß es als selbstverständlich gelten, daß magnetische Anomalien eng mit denen der Schwere verbunden sind. Dies ist denn auch in der Tat, wo es bis jetzt untersucht wurde, bestätigt worden (z. B. Harz, Bornholm u. a.): die Linien ohne Lotabweichung und die ohne magnetische Störung verlaufen einander parallel.

Es steht zu erwarten, daß das eingehendere

Studium der magnetischen Anomalien uns wichtige, auf anderem Wege nicht zu erhaltende Aufschlüsse über die Geologie tiefer Schichten der Erdrinde geben wird. Man wird ferner sagen dürfen, daß da, wo eine magnetische Anomalie sich zeigen sollte, es lohnend ist, auch eine vielleicht noch nicht vorgenommene geologische Aufnahme in Angriff zu nehmen. Besonders erwähnt sei noch, daß man in Südrußland und Schweden erfolgreich durch magnetische Vermessung die Ausbreitung von Eisenerzlagern bestimmt hat.

38. Lokale Anomalien sind ihrer geringen Ausdehnung wegen auch von geringerem Interesse. Meist ist es ein isoliert aufsteigender Basalt- oder Granitfelsen, der sie hervorruft. Ist das anstehende Gestein permanent magnetisch, so spricht man von Gesteinsmagnetismus. Außer durch Induktion kann die Magnetisierung bei der allen Wettern ausgesetzten Lage jener Klippen auch durch häufige Blitzschläge hervorgerufen sein.

39. Die Größe der Elemente des Erdmagnetismus bestimmt sich aus derjenigen des normalen Feldes und den störenden Kräften. Um beides voneinander zu trennen, zerlegt man die beobachteten Elemente in ihre rechtwinkligen Komponenten  $X Y Z$ . Jede davon ist aus einer normalen und einer Störungskomponente zusammengesetzt; so ist z. B.  $X = X_n + X_s$ , wo  $n$  den normalen,  $s$  den Störungsanteil bezeichne.  $X_s Y_s Z_s$  heißen die Komponenten des Störungsvektors. Die Größe der lokalen Störung ist  $\sqrt{X_s^2 + Y_s^2 + Z_s^2} =$  dem Störungsvektor. Man kann so aus den bekannten normalen Komponenten und den beobachteten

die Richtung und Größe der störenden Kraft einfach berechnen. Die Elemente selbst — Deklination, Inklination, Horizontalintensität — hängen den rechtwinkligen Komponenten gegenüber bedeutend komplizierter zusammen, da sie nicht nur die gestörten, sondern auch die normalen Werte enthalten. In einem gestörten Gebiete verlaufen die isomagnetischen Linien sehr unregelmäßig. Man spricht von ihnen als von den wahren isomagnetischen Kurven, im Gegensatz zu den terrestrischen d. i. den aus den Gaußschen Reihen berechneten.

### § 11. Die Änderung des Erdmagnetismus mit der Höhe.

40. Da man aus der Verteilung des erdmagnetischen Potentials auf der Erdoberfläche das Potential und damit den Wert aller Elemente in irgend einem Punkte außerhalb der Erde berechnen kann (vgl. 24), so scheint es keinen Zweck zu haben, die Änderung mit der Höhe aus Beobachtungen ermitteln zu wollen. Allein obiges Verfahren ist nur anwendbar, wenn alle magnetischen Kräfte ganz innerhalb der Erdrinde zu suchen (vgl. 27). Ob dem so ist, können Beobachtungen in verschiedenen Höhen ermitteln.

41. Es bieten sich hier zwei Wege. Zuerst eingeschlagen wurde der der Beobachtungen im Ballon. So kamen 1804 Gay-Lussac und Biot auf eine Höhe von 4000 m, konnten aber keine erkennbare Zunahme der Schwingungsdauer eines Magneten beobachten, also auch keine Abnahme der Horizontalintensität. Bei der Ungenauigkeit solcher Beobachtungen in schwankem Ballonkorbe ist dies auch nicht zu erwarten. Heute, in jüngster Zeit, hat man denselben Weg wieder betreten, indem man Lokalvariometer,

den Anforderungen der Ballonfahrt entsprechend und mit der genügenden Empfindlichkeit versehen, gebaut hat. Doch liegen noch keine veröffentlichten Resultate vor. Diese Ballonvariometer sind zugleich dazu bestimmt, den die Erde nicht sehenden Luftschiffer zu orientieren, d. h. ihm anzugeben, über welcher Isodynamen er sich befindet.

42. Die andere Methode ist die der Bergbeobachtungen. Allein hier greift der Gesteinsmagnetismus, der zum Gebirgsmagnetismus wird, so störend ein, daß die widersprechendsten Resultate erhalten wurden. Die sorgfältigste Untersuchung, am Massiv des Rigi ausgeführt, weist auf eine Abnahme der Horizontalintensität von  $5 \gamma$  ( $1 \gamma = 0.00001 \text{ cm}^{-\frac{1}{2}} \text{ g}^{\frac{1}{2}} \text{ sec}^{-1}$ ) auf den Kilometer hin; die Gaußsche Theorie würde  $9 \gamma$  verlangen. Liznar fand für Österreich  $29 \gamma$ , also bei weitem mehr.

Hier können nur Ballonbeobachtungen klärend wirken.

## Die Variationen des Erdmagnetismus.

### § 12. Die verschiedenen Arten der Variationen.

43. Wenn man bedenkt, wie geheimnisvoll das Wesen des natürlichen oder des künstlichen Magneten den Weisen des ausgehenden Mittelalters anmutete, so kann man sich annähernd einen Begriff davon machen, wie tief die Erkenntnis empfunden wurde, daß unsere große Erde selbst ein Magnet ist. Wenn seine Bauart auch ursprünglich einfacher gedacht wurde, als sie ist, so verstand doch Gauß das schein-

bar Unübersichtliche im vollen Sinne des Wortes harmonisch darzustellen und die Gesamtheit der Erscheinungen des permanenten Magnetismus unseres Planeten einheitlich wiederzugeben. Aber so viel deren sind, ihre Zahl verschwindet gegen die Mannigfaltigkeiten, die in den steten, ununterbrochenen Änderungen unserer Naturkraft zu Tage treten.

Der Erdmagnetismus ist an jedem Orte der Erde sowohl seiner Richtung als seiner Stärke nach in fortgesetzter Veränderung begriffen: er ist dauernden Variationen unterworfen. Diese sind die Wirkung mehrerer, gleichzeitig vorhandener Ursachen, wovon wir einige wenige sicher kennen, über die anderen aber nur mehr oder weniger bestimmte Vermutungen hegen. Die Gleichzeitigkeit aller macht es notwendig, aus dem tatsächlichen Verlaufe denjenigen Anteil herauschälen zu können, der einer bestimmten Ursache entspricht.

44. Als solche steht in erster Linie die Umdrehung der Erde um ihre Achse. Sie bedingt den Wechsel von Tag und Nacht, und, wie bei allen meteorologischen, so auch bei den magnetischen Elementen eine tägliche Periode, d. h. eine Variation, die sich nach je 24 Stunden wiederholt, bezugsweise wiederholen würde, falls die Erde nur die eine Bewegung der täglichen Drehung ausführte.

45. Da sie dies nun nicht tut, sondern sich in  $365\frac{1}{4}$  Tagen einmal und zwar in einer Ellipse um die Sonne bewegt, so muß sich Größe und Gestalt der magnetischen Variation und gegebenen Falles auch der Mittelwert von Tag zu Tag ändern. Man spricht daher von einer jährlichen Periode schlechtweg, die einträte, falls die Erde ohne Drehung ihre

Bahn durchlief, und einer jährlichen Periode der täglichen Variation, wenn gleichzeitig die Erde rotiert. Erstere muß z. B. erklären, warum die Deklination im Juli größer als im Dezember; letztere würde zeigen, warum die tägliche Variation im Sommer größer als im Winter.

46. Außer gegen die Sonne bewegt sich die Erde auch gegen den Mond und die Planeten und auch dies könnte von Einfluß sein, und ist es auch. Jedesmal wenn wieder dieselbe Stellung des Himmelskörpers gegen die Erde erreicht wird, wiederholt sich dieser Anteil der Variationen. Der Zeitraum, der hierzu verrinnen muß, heißt die Periode. Es gibt scharfe Methoden, zu untersuchen, ob eine errechnete Periode eine wahre oder eine zufällige ist.

47. Die Erde könnte auch, wie jeder Magnet, ihr Moment verlieren oder ihre magnetische Achse verlagern, was mit der Zeit ebenfalls an jedem Orte als Variation zu bemerken sein würde und auch so ist. Man nennt diese Variation, weil sie langsam vor sich geht, die säkulare.

Alle bis jetzt erwähnten Variationen sind kontinuierlich, d. h. arbeiten gleichzeitig und ohne Unterbrechung.

48. Ihnen gegenüber steht die große Gruppe der Störungen; sie wirken nur zeitweilig. Ein Wert ist dann gestört, wenn er von den aus allen kontinuierlichen Ursachen berechneten Variationen abweicht. Neben dieser scharfen Begriffsbestimmung bestehen mehrere angenäherte. Danach nennen wir einen Wert gestört, wenn er von einem bestimmten Betrag vom Mittel aus einem längeren Zeitraume abweicht (Sabine), oder von einem durch zeichnerische Ausgleichung ge-

wonnenen normalen Verlauf (Wild). Ist nur eine beschränkte Anzahl von Werten hintereinander gestört, so kann man von einer Einzelstörung sprechen.

### § 13. Die säkulare Variation.

49. Alle erdmagnetischen Karten, alle Berechnungen des Potentials und alle Landesaufnahmen gelten für eine Epoche, stellen gewissermaßen magnetische Momentbilder der Erde dar. Für verschiedene Epochen durchgeführte Berechnungen zeigen stets Unterschiede gegeneinander. Sie sind die Folge der säkularen Variation. Es waren die ersten Veränderungen unserer Naturkraft, die man überhaupt entdeckte (1634 Gellibrand in London).

Man suchte lange Zeit und mit verschiedenem Resultate nach einer Periode. Heute gilt als ausgemacht, daß sie, wenn vorhanden, jedenfalls so lange ist, daß wir bei unseren wenigen Hunderten von Beobachtungsjahren noch nichts über sie aussagen können. Es ist daher unberechtigt, von einer Säkularperiode zu reden.

Da man am frühesten verstand, die Deklination zu messen, so mußte hier die Änderung von Jahr zu Jahr am ehesten auffallen. Dies um so leichter, als, in Europa wenigstens, die ersten Beobachtungen östliche Abweichung ergaben, die um 1600 ein Maximum erreichte, westlich wurde und seit Mitte vorigen Jahrhunderts wieder abnimmt. Bei wachsender Genauigkeit der Beobachtungen zeigte sie sich auch in der Inklination. Sie erstreckt sich überhaupt auf jedes Element. Ihre scharfe rechnerische Ermittlung bietet, namentlich in Total- und Vertikalintensität, große Schwierigkeiten, die nur ein Observatorium mit voller Ausrüstung einigermaßen beseitigen kann.

50. Wenn auch einige ältere Arbeiten Resultate von Wert zu finden im stande waren, so ist doch erst ein wesentlicher Fortschritt festzustellen, seitdem man die Erde als Ganzes betrachtet, nicht nur die Verhältnisse an einigen wenigen Orten.

Die erste Untersuchung der Art nahm L. A. Bauer vor. Er denkt sich in den Schwerpunkt einer frei aufgehängten Nadel versetzt und betrachtet die Kurve, die die verlängerte Achse des Magneten im Raume beschreibt, wenn der Magnet den säkularen Änderungen in der Richtung ( $\delta$  und  $i$ ) des erdmagnetischen Feldes folgt. Indem eine Änderung der Deklination den Magneten zur Seite, der Inklination ihn nach oben oder unten bewegen würde, beschreibt die Achse einen Kegel im Raum, oder auf einer Kugel um den Aufhängepunkt eine ovale Linie. Sie hat für verschiedene Orte verschiedene Gestalt, wird jedoch überwiegend in einem Sinne durchlaufen gleich dem der Bewegung des Uhrzeigers.

Das Merkwürdige ist nun folgendes. Berücksichtigt man nur den permanenten Magnetismus der Erde und denkt sich den Magneten längs des Breitenkreises seines Beobachtungsortes um sie herumgeführt, so beschreibt seine Achse infolge der steten Änderungen in Inklination und Deklination von Längenzu Längengrad fast dieselbe Kurve, wie wenn er am Ort bleibe und nur der Säkularvariation folge. Dies besagt: die säkulare Variation kommt dadurch zu stande, daß das permanente Feld sich um die Erde verschiebt.

Dasselbe überraschende Resultat liefert die schöne Theorie von Carlheim-Gyllenskiöld, die hier nur kurz angedeutet werden kann. Das Vorhandensein der

Säkularvariation besagt eben nichts anderes, als daß der Erdmagnetismus nicht nur eine Funktion der Länge und Breite, sondern auch noch der Zeit ist. Mit anderen Worten: die Koeffizienten  $g^{n,m}$   $h^{n,m}$  der Gaußschen Kugelfunktion (vgl. 24) sind mit der Zeit veränderlich. Kennt man ihre Werte für verschiedene Epochen, so kann man diese Abhängigkeit von der Zeit berechnen. Die Durchführung ergab, daß der permanente Magnetismus aus einzelnen Anteilen besteht, die mit verschiedener, gleichförmiger Geschwindigkeit die Erde umlaufen. Die kürzeste Periode ist 300, die längste 3100 Jahre.

51. Über die Ursache der säkularen Variation bestehen verschiedene, von der Erfahrung aber noch nicht genügend geprüfte Ansichten, auf die wir daher nicht eingehen wollen. Es scheint, daß sie mehr eine Folge der Verlagerung der magnetischen Achse ist, als eine Änderung des magnetischen Momentes der Erde.

52. Die Verlagerung der magnetischen Achse und auch die Verlagerung der magnetischen Pole ist in jüngster Zeit mehrfach untersucht worden. Während die Wanderung nach Westen fast stets gefunden wird, steht es mit der Bewegung in Länge noch sehr unsicher.

53. Der jährliche Betrag der säkularen Änderung ist in verschiedenen Gegenden recht verschieden. Als Beispiel dienen die Werte von Potsdam (1890—1898) und Batavia (1884—1898).

$$\begin{aligned} \text{Potsdam: } \Delta \delta &= -5'19, \quad \Delta H = +22.8, \quad \Delta Z = +6.3; \\ \Delta T &= +14.8, \quad \Delta i = -1'34. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batavia: } \Delta \delta &= -2'88, \quad \Delta H = -6.6, \quad \Delta Z = +96.4; \\ \Delta T &= +40.9, \quad \Delta i = -7'15. \end{aligned}$$

### § 14. Die tägliche und die jährliche Variation.

54. Da man, wie oben besprochen, zuerst vermeinte, der Erdmagnetismus bleibe an ein und demselben Orte stets derselbe, so wiederholte man eine einmal gemachte Messung fast gar nicht; wenn aber, dann nur in großen Zwischenräumen so, daß eben die säkulare vor der Änderung von Augenblick zu Augenblick entdeckt wurde. Es war G. Tachart, der 1682 in Siam fand, daß die Deklination aufeinanderfolgender Tage verschiedene Werte besaß. Bei den Bestrebungen, die säkulare Variation genauer festzustellen, fand man dann auch bald die überraschende Tatsache, daß schon im Laufe eines Tages Änderungen der Kompaßrichtung eintraten, bis die erste längere Beobachtungsreihe von Graham in London 1722 eine tägliche Variation klar erkennen ließ.

55. Heutzutage weiß man, daß ein jedes erdmagnetisches Element an jedem Orte unter allen anderen auch eine Periode von 24 Stunden, eine tägliche Variation besitzt. Um sie rein zu erhalten, muß man alle anderen und die Störungen eliminieren. Letztere bereiten besonders an Polarstationen den Untersuchungen erhebliche Schwierigkeiten.

56. Es ist üblich, die Variationen eines Elementes durch ein vorgesetztes  $\Delta$  zu bezeichnen. Der Zusammenhang der Variationen untereinander ergibt sich aus der Formelübersicht 3 durch Differentiation, so daß

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= \Delta H \cos \delta_m - H_m \sin \delta_m \Delta \delta \\
 \Delta Y &= -\Delta H \sin \delta_m - H_m \cos \delta_m \Delta \delta \\
 \Delta Z &= \Delta H \operatorname{tg} i_m + \Delta i \frac{H_m}{\cos^2 i_m}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

$$\Delta i = \frac{1}{2} \frac{\sin 2 i_m}{Z_m} \Delta Z_m - \frac{1}{2} \frac{\sin 2 i_m}{H_m} \Delta H$$

$$\Delta T = \Delta H \cos i_m + \Delta Z \sin i_m;$$

die Größen mit dem Index  $m$  stellen die Mittelwerte für das Zeitintervall dar.

57. Wir wählen zur Darstellung der Verhältnisse eine Station mittlerer nördlicher Breite (Potsdam,  $\varphi = + 52^\circ 22'9''$ ), eine andere mittlerer südlicher Breite (Melbourne,  $\varphi = - 37^\circ 49'9''$ ) und eine tropische (Batavia,  $\varphi = - 6^\circ 19'$ ). Fig. 2 veranschaulicht den täglichen Verlauf der Elemente, wie er sich im Jahresdurchschnitt aus mehreren Jahren ergibt.

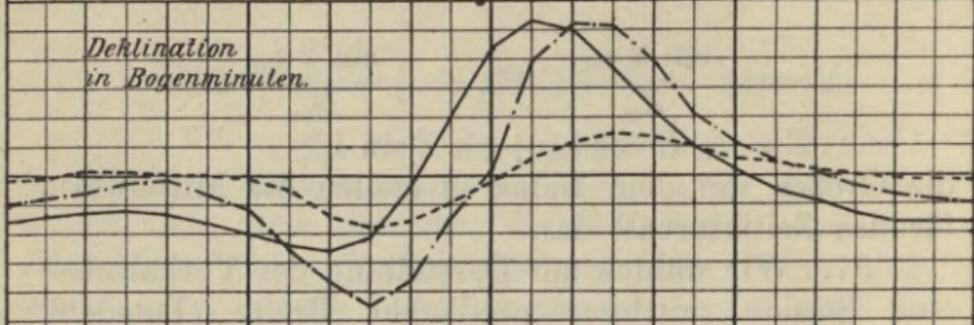
Gemeinsam ist allen Verläufen ein regelmäßiger und großer Gang während des Tages, ein unregelmäßigerer und kleinerer während der Nacht. Die Deklination zeigt ein Minimum in den Morgenstunden 8—10 Uhr, ein Maximum von 1—3 des Nachmittags. Da jedoch in Batavia und Melbourne die Deklination eine östliche ist (siehe Tafel I), so haben wir, wenn die Kurve sich über das Mittel erhebt, eine Zunahme der östlichen Deklination. Der Verlauf der westlichen Deklination ist demnach gerade entgegengesetzt, also den Verhältnissen in Potsdam ebenfalls entgegengesetzt. Alles wird jedoch übereinstimmend, wenn wir auf der Nordhalbkugel den Nordpol, auf der Südhemisphäre den Südpol der Nadel betrachten: die nach dem betreffenden magnetischen Pol hin gerichtete Kraft erzeugt eine Richtungsänderung, die am Tage die Abweichung vom geographischen Meridian stärker schwanken läßt, als in der Nacht. Ähnlich erklärt sich der scheinbare Gegensatz in  $\Delta i$  und  $\Delta Z$  zwischen Potsdam und Batavia. Die Kurven zeigen für erstere Station Variationen der nördlichen Inklination und

Vormittag.

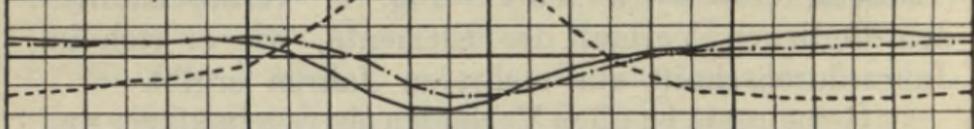
Nachmittag.

0 2 4 6 8 10 0 2 4 6 8 10 0

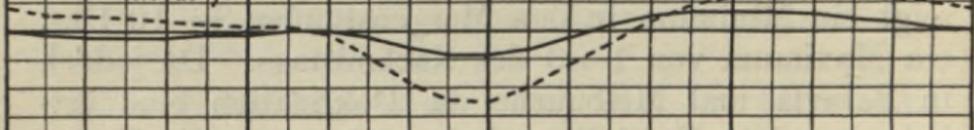
*Deklination  
in Bogenminuten.*



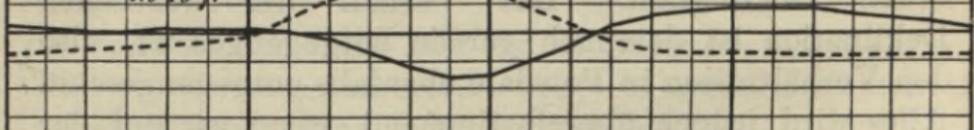
*Horizontal-Intensität  
in 10 γ.*



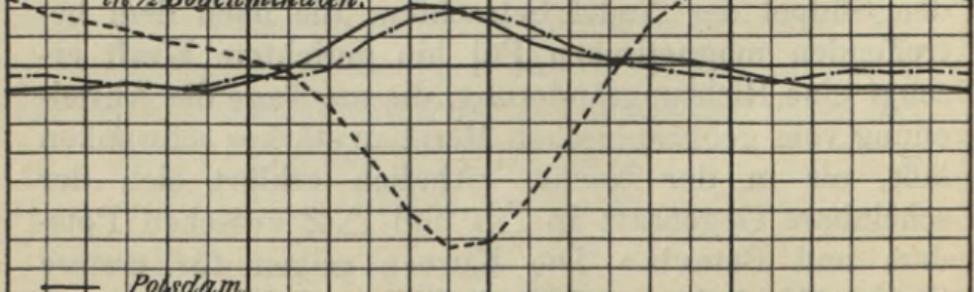
*Vertikal-Intensität  
in 10 γ.*



*Total-Intensität  
in 10 γ.*



*Inklination  
in 1/2 Bogenminuten.*



— Potsdam.  
- - - Balavia.  
- · - Melbourne.

0 2 4 6 8 10 0 2 4 6 8 10 0

positiver Vertikalintensität, für letztere solche südlicher Inklination und negativer Intensität.

58. Der Einfluß der Jahreszeiten auf die Variationen erstreckt sich auf die Gestalt der Kurven, d. h. verändert die Anzahl und Lage der Extreme, und auf die Größe der Schwankung: die Amplitude. Der Einfluß auf die Gestalt besteht darin, daß in den Wintermonaten, d. i. in der kalten Jahreszeit, mehr Nebenextreme auftreten und die Verläufe dadurch unregelmäßiger werden; sie nähern sich mehr dem Nachtcharakter, der kalten Tageszeit. Im Sommer wird der Gang regelmäßiger. Bei Orten in den Tropen kommt es darauf an, ob die Sonne nördlich oder südlich vom Äquator steht.

Da mit wachsender Amplitude die Regelmäßigkeit des Verlaufes zunimmt, ist sie ein Maß für die Variation. Für unsere drei Stationen ist für die einzelnen Monate die Amplitude aus nachstehender Übersicht zu entnehmen.

|                           | I.    | II.  | III. | IV.  | V.   | VI.  | VII. | VIII. | IX. | X.   | XI.  | XII. |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|------|------|
| Potsdam $\Delta \delta =$ | 5,2   | 6,2  | 9,0  | 11,4 | 11,4 | 11,2 | 11,1 | 11,1  | 9,3 | 7,4  | 5,9  | 4,9  |
| Batavia                   | 4,2   | 4,6  | 3,6  | 2,9  | 2,4  | 1,8  | 2,2  | 3,2   | 3,8 | 4,5  | 4,3  | 4,2  |
| Melbourne                 | 13,70 | 13,6 | 12,2 | 9,3  | 6,3  | 4,8  | 6,5  | 7,6   | 9,2 | 13,9 | 13,5 | 13,2 |
| Potsdam $\Delta H =$      | 15    | 18   | 28   | 40   | 39   | 41   | 43   | 42    | 37  | 32   | 20   | 13,7 |
| Batavia                   | 49    | 47   | 54   | 60   | 51   | 48   | 50   | 53    | 58  | 52   | 43   | 40   |
| Melbourne                 | 15    | 16   | 15   | 12   | 7    | 9    | 8    | 11    | 13  | 16   | 15   | 15,7 |
| Potsdam $\Delta Z =$      | 6     | 12   | 18   | 25   | 29   | 25   | 24   | 20    | 17  | 14   | 10   | 7,7  |
| Batavia                   | 42    | 48   | 48   | 45   | 31   | 31   | 32   | 29    | 41  | 50   | 40   | 33   |

Die Amplitude ist demnach auf der nördlichen Halbkugel von April bis August,

auf der südlichen von Oktober bis Februar am größten, also beidemal im Sommer. Mithin kann die Vergrößerung der täglichen Variation nicht etwa dadurch bedingt sein, daß die Erde sich der Sonne im südlichen Sommer nähert. Es ist also auch die Variation selbst nicht durch die Sonne direkt bedingt, wie man früher wohl annahm.

Hieraus und auch auf andere Weise erklärt sich übrigens auch, daß die jährliche Variation so klein ist, verglichen mit der täglichen. Die bloße Entfernungsänderung der Erde von der Sonne kann eine Änderung des magnetischen Feldes der Erde nicht hervorrufen; nur die Schiefe der Erdachse gegen die Ekliptik bedingt die jährliche Variation. Es ist dadurch der Winkel, den die magnetische Achse mit der Richtung nach der Sonne einschließt, am kleinsten in Sonnenferne, erreicht ein Maximum im November, ein zweites, kleines Minimum in Sonnennähe und ein zweites, dem ersten gleiches Maximum im März. Einen entsprechenden jährlichen Gang zeigen die jährlichen Verläufe der erdmagnetischen Elemente zu Potsdam und Batavia:

|                             | I.   | II.   | III.  | IV.   | V.    | VI.   | VII.  | VIII. | IX.   | X.    | XI.   | XII.          |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Potsdam $\Delta \delta = -$ | 0.02 | -0.07 | -0.05 | +0.04 | +0.09 | +0.16 | +0.21 | +0.12 | -0.03 | -0.16 | -0.21 | -0.10         |
| Batavia $\Delta \delta = -$ | 0.23 | -0.23 | -0.05 | +0.06 | +0.10 | +0.12 | +0.09 | +0.17 | +0.12 | +0.02 | +0.02 | -0.13         |
| Potsdam $\Delta H = -$      | 1.7  | -2.8  | -1.8  | +1.6  | +5.6  | +7.4  | +5.0  | +0.5  | +3.4  | -4.8  | -3.6  | -1.8 $\gamma$ |
| Batavia $\Delta H = +$      | 4.4  | +1.6  | -0.9  | -3.6  | -5.0  | -2.1  | +1.9  | +3.2  | +1.1  | +1.0  | -3.1  | +1.5 $\gamma$ |
| Potsdam $\Delta t = +$      | 0.4  | +0.5  | +0.3  | +0.0  | -0.3  | -0.6  | -0.6  | -0.2  | +0.1  | +0.2  | +0.3  | +0.2          |
| Batavia $\Delta t = -$      | 11.3 | -6.4  | -0.9  | +4.2  | +8.5  | +4.6  | +0.8  | +0.4  | +1.4  | +2.5  | +0.5  | -4.4          |

In der Deklination ist keine große Variation zu erwarten; daß die Doppelwelle dennoch, zum wenigsten in Potsdam gut erkennbar, rührt nur davon her, daß die Genauigkeit der absoluten Bestimmung dieses Elementes und zugleich die Stabilität der Deklinationsvariometer so groß ist. Ihres stärkeren Betrages wegen ist dagegen die Variation der Inklination trotz der geringeren Genauigkeit der Messungen besser ausgesprochen; sie ist in Batavia umgekehrt, wie in Potsdam, da sie hier eine nördliche, dort eine südliche ist, in beiden Fällen aber eine Doppelwelle. Am klarsten zeigt die jährliche Variation der Horizontalintensität diese doppelte Schwingung; es ist hier auch die Lage der Extreme am sichersten zu erkennen: Maxima im Juni und Dezember, Minima im Februar (Batavia im Mai) und Oktober.

Ein Vergleich der Zahlen obiger Tabelle mit denen am Schlusse des § 13 zeigt, wie sehr die jährliche Variation von der säkularen überdeckt wird. Da man diese letzteren aber selbst noch nicht genügend kennt, so ist man heute nicht im stande, beide Variationen scharf zu trennen. Dazu kommt, daß nur ein Observatorium mit peinlich genau überwachtem Basiswert im stande ist, den Beobachtungsfehler unter den Betrag der jährlichen Variation hinunterzudrücken. Da dies bei der Vertikalintensität noch nicht gelungen ist, geben die an verschiedenen Orten gewonnenen jährlichen Verläufe dieses Elementes und der daraus abgeleiteten Totalintensität ganz unvereinbare Resultate.

### § 15. Die Theorie der täglichen und jährlichen Variation.

59. Auch für die theoretische Betrachtung der täglichen Variation sind die notwendigen Angaben in der großen Arbeit von Gauß über die Theorie des Erdmagnetismus schon enthalten. Selbstverständlich stützt sich die Theorie nicht auf die Variationen der Elemente  $\Delta \delta$   $\Delta H$   $\Delta i$ , sondern auf die  $\Delta X$   $\Delta Y$   $\Delta Z$  der Komponenten, die man nach Formel 18 aus ihnen berechnet. Den Ausbau des Gaußschen Programms verdanken wir vornehmlich Schuster und v. Bezold, deren Arbeiten ein neues Leben in die erdmagnetische Forschung gebracht haben.

60. Gerade wie ein permanentes Feld den beharrlichen Magnetismus der Erde erzeugt, kann man sich ein ihm überlagertes denken, das die täglichen Variationen hervorruft. Die tägliche Variation kommt dann dadurch zu stande, daß die Erde in diesem Kraftfelde rotiert. Wie stark an einem bestimmten Orte der Einfluß des täglichen Feldes ist, hängt dann lediglich davon ab, an welcher Stelle des Feldes sich der Ort befindet, also entweder von seiner geographischen Länge oder von der Tageszeit. Offenbar ist die tägliche Variation einer Komponente für alle Orte auf demselben Breitenkreise dieselbe: die Extreme und Wendepunkte der Verläufe müssen zu denselben Tageszeiten eintreten, die Amplitüden gleich groß sein. Dies gilt jedoch nur für die rechtwinkligen Komponenten, nicht für die Variationen der Elemente.

61. Man stellt daher die  $\Delta X$   $\Delta Y$   $\Delta Z$  als Funktion der Länge oder der Tageszeit in der Form dar

$$(19) \quad \Delta X = k_0 + k_1 \cos t + K_1 \sin t + k_2 \cos 2t \\ + K_2 \sin 2t + \dots k_n \cos nt + K_n \sin nt,$$

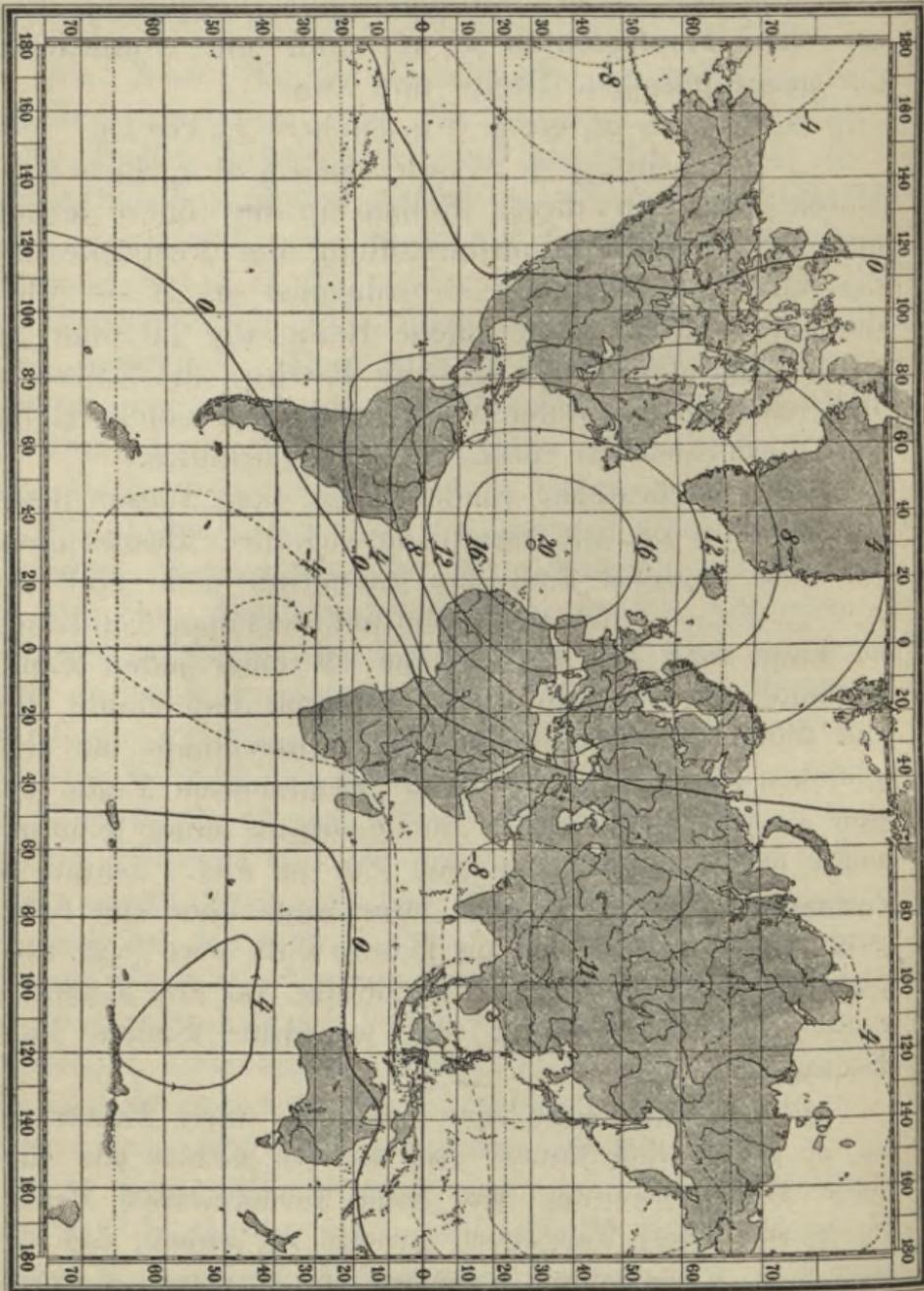
wo  $t$  die seit einer Anfangsstunde verflossene Zeit ist. Die Koeffizienten  $k_n, K_n$  sind nur Funktionen der geographischen Breite und zwar

$$(20) \quad k_n = \kappa_0 + \kappa_1 \cos \varphi + \iota_1 \sin \varphi + \kappa_2 \cos 2\varphi \\ + \iota_2 \sin 2\varphi + \dots + \kappa_n \cos n\varphi + \iota_n \sin n\varphi.$$

Durch Einsetzen dieser Reihen in die obere erhält man die Kugelfunktionsdarstellung der Verbreiterung der täglichen Variation — zunächst in  $X$  — über die ganze Erde. Eine solche Reihe wie 19 oder 20 nennt man eine Fouriersche Reihe, die Entwicklung einer beobachteten Variation in eine solche Reihe eine harmonische Analyse des Verlaufes.

62. Es bestehen wieder Sätze, vom Wesen derer in Abschnitt 23, wie Bezold entwickelte. Besitzt nämlich das tägliche Feld ein Potential, d. h. sind die  $\triangle X \triangle Y \triangle Z$  Ableitungen ein und derselben Funktion, so kann man aus den Reihen 19 einer jeden Komponente die Verteilung der anderen und damit die des Potentials berechnen. Im Unterschiede zu den gleichen Betrachtungen beim permanenten Felde bedarf es hier nicht mehr der Kenntnis einer Komponente längs einer Linie von Pol zu Pol. Damit in Zusammenhang steht, daß zwar auch hier das Integral über eine geschlossene Kurve Null wird (vgl. 29); aber dies ist nur dann ein Beweis für die Existenz eines Potentials, wenn die gewählte Kurve kein Breitenkreis ist.

63. Nimmt man die Existenz eines Potentials an, so lassen sich innere und äußere Kräfte auf dieselbe Weise trennen, wie beim permanenten Felde. Es ist Schusters Verdienst, gezeigt zu haben, daß die täglichen Variationen vornehmlich äußeren Kräften zuzuschreiben sind; immerhin ist ein hoher Prozent-



Tafel III. Linien gleichen Potentials der täglichen Variation nach Fritsche.

Gültig für 0<sup>p</sup> m. Greenwich mittl. Zeit (in Einheiten der 5. Stelle des C. G. S.-Systems).

satz in der Erdrinde zu suchen. Schuster erklärt sie als elektrische Ströme, von den äußeren Kräften in der Erdrinde induziert.

64. Die vorläufige Berechnung des täglichen Feldes durch Schuster ist vor kurzem durch Fritsche vervollständigt worden. Das Resultat dieser Rechnung veranschaulicht uns die Tafel III für innere und äußere Kräfte gemeinsam.

Die dargestellten Kurvenzüge sind Linien gleichen Potentials, die beigeschriebenen Ziffern Einheiten der fünften Dezimale im C. G. S.-System. Denkt man sich das tägliche Feld durch elektrische Ströme erzeugt, so entsprechen die Kurvenzüge den Strömungslinien, und da sie geschlossen sind, entspricht die ganze Verteilung mehreren Stromwirbeln, die um die Punkte höchsten und niedrigsten Potentials als Flächenströme herumfließen. Diese Stellen sind die Pole des täglichen Feldes. Positive Werte stellen einen Nordpol, negative einen Südpol vor. Die Pfeile geben den Richtungssinn der Ströme an.

Die ganze Darstellung gilt für den nördlichen Sommer und 0 Uhr Nachmittag Greenwicher Ortszeit. Im Gegensatze zu unseren früheren isomagnetischen Kurvensystemen sind die Linien nämlich nicht an die Erdoberfläche gebunden, sondern im Raume fest. Wenn nun die Epoche 0 Uhr Greenwicher Zeit ist, so heißt das: ist 0 Uhr Nachmittag Greenwicher mittlere Zeit (Gr. M. Z.), so befinden sich die Kurven gleichen Potentials des täglichen Feldes in der gezeichneten Lage zur Erdoberfläche.

Das Ergebnis ist folgendes. Auf jeder Halbkugel befindet sich ein Nord- und ein Südpol. Ersterer geht zwei Stunden nach der Kulmination der Sonne



eine Mischung zwischen Polar- und Äquatorialstrom der allgemeinen Luftzirkulation eintritt,\*) worauf wir später zurückkommen werden. Trennt man innere und äußere Kräfte, so zeigt sich, daß dies in erster Linie durch das System der äußeren Kräfte bedingt ist. Hier müssen meteorologische Einflüsse maßgebend sein.

65. Es dürfte klar sein, daß die übliche Darstellung der täglichen Variationen nur ein sehr dunkles Bild der einfachen Verhältnisse gibt, wie wir sie hier haben betrachten lernen. Bezold erinnert daher an ein Verfahren von Gauß. Man trägt

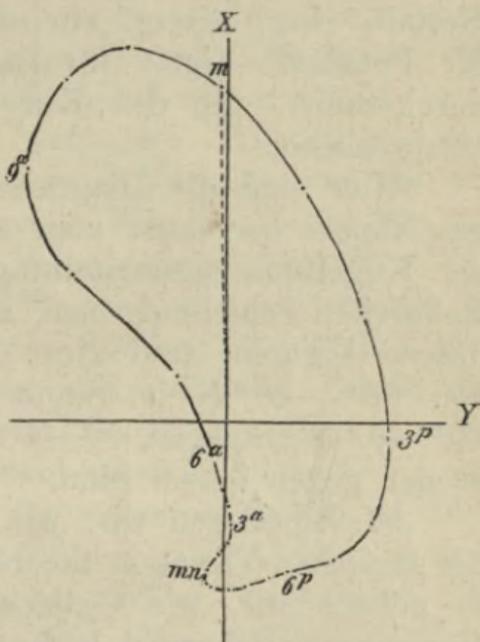


Fig. 4. Batavia.

auf der einen Achse eines rechtwinkligen Systems die Werte  $\Delta X$ , auf der anderen  $\Delta Y$  auf. Einem Wertepaar  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  entspricht ein bestimmter Punkt  $P$ . Trägt man nacheinander alle Werte  $\Delta X$  und  $\Delta Y$  des Tages auf, so kann man die ihnen entsprechenden Punkte verbinden. Man erhält so eine geschlossene Kurve, das Vektorendiagramm der täglichen Variation, aus dem man eine

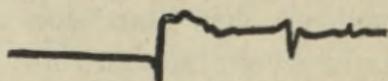


Fig. 5.

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, § 30.

große Anzahl Einzelheiten der täglichen Variation der Horizontalintensität und Deklination entnehmen kann. Ein solches Diagramm gilt für alle Orte ein und desselben Breitenkreises, es hat überall auf ihm dieselbe Gestalt. Fig. 3 zeigt ein solches Vektorendiagramm für Potsdam, Fig. 4 für Batavia, beide im Jahresdurchschnitt, also den Kurven  $\triangle H$   $\triangle \delta$  der Fig. 2 entsprechend.

Hier sind die Diagramme nach Beobachtungen gezeichnet; berechnet man sie aus dem Felde nach der Kugelfunktionsdarstellung, so erhält man für die Roßbreiten Schleifenformen, sonst ovale Gestalten, wie unsere Figuren, und zwar ist die Umlaufsrichtung von  $90^{\circ}$ — $40^{\circ}$  N im Sinne der Uhrzeigerbewegung,  $40^{\circ}$ — $0^{\circ}$  N entgegen,  $0^{\circ}$ — $40^{\circ}$  S mit und  $40^{\circ}$ — $90^{\circ}$  S wieder gegen diesen Sinn.

66. Überlegen wir, wie die jährliche Änderung der täglichen Variation theoretisch zu behandeln wäre, so müssen wir, wie Gyllenskiöld bei der säkularen Variation, verfahren, d. h. die Koeffizienten der Reihendarstellung als Funktion der Zeit im Jahre auffassen, mit andern Worten, als Funktion der Sonnendeklination. Dagegen wäre die jährliche Variation des Mittelwertes selbst eine Funktion der Sonnenlänge. Statt diese jedenfalls umfangreiche Rechnung durchzuführen, hat man sich auf einzelne Orte beschränkt. Man berechnete dann nur die Koeffizienten der Reihe 19, ließ deren Abhängigkeit mit der Breite (Formel 20) offen, und stellte sie nur als Funktion der Jahreszeit dar.

Eine besondere Untersuchung der jährlichen Variation führte zu dem Resultate, daß sie aus elektrischen Strömen erklärt werden kann, die oberhalb der Erd-

rinde in Bahnen entgegen dem Sinne der Uhrzeigerbewegung fließen.

### § 16. Die magnetischen Störungen.

67. Wie schon oben bemerkt, unterscheiden sich die Störungen von den regelmäßigen Variationen dadurch, daß sie nicht fortwährend wirksam sind, sondern nur vorübergehend auftreten. Allerdings rufen sie dann oft eine vollkommene Verwandlung des gewöhnlichen Verlaufes hervor. Wie ein Ungewitter die träge Ruhe eines heißen Sommertages plötzlich in ihr Gegenteil, in Sturm und Regenschauer verwandelt, so bricht auch die magnetische Störung oft plötzlich und ohne jedes Anzeichen aus und zwingt die Nadel des Variometers zu lebhaftester Bewegung. Man spricht daher wohl auch von einem „magnetischen Gewitter“. Der Unterschied gegen die meteorologischen ist aber der, daß die Eintrittszeit für das ganze Gebiet, in dem die Störung auftritt, nicht meßbar verschieden ist; wahrscheinlich ist sie dieselbe. Man hat daher solche Ausbruchszeiten und ähnliche scharf bestimmte Phasen einer Störung dazu benutzen wollen, den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu bestimmen. Das gestörte Gebiet ist oft so groß, daß es die ganze Erde umfaßt.

Einen solchen Störungsausbruch zeigt Fig. 5, eine Kopie von einer Kurve der Horizontalintensität, in typischer Form: Stoß, erst verkleinernde Intensität, dann starkes Ansteigen nach der entgegengesetzten Richtung. Fig. 6 gibt eine Störung dieses Elementes in voller Tätigkeit wieder.

Mäßige Störung; Ausbruch 7 Uhr 40 Min. Das Kurvenstück bis dahin zeigt den Charakter des ruhigen

7<sup>p</sup>  
 8<sup>p</sup>  
 9<sup>p</sup>  
 10<sup>p</sup>  
 11<sup>p</sup>  
 Mn.  
 1<sup>a</sup>

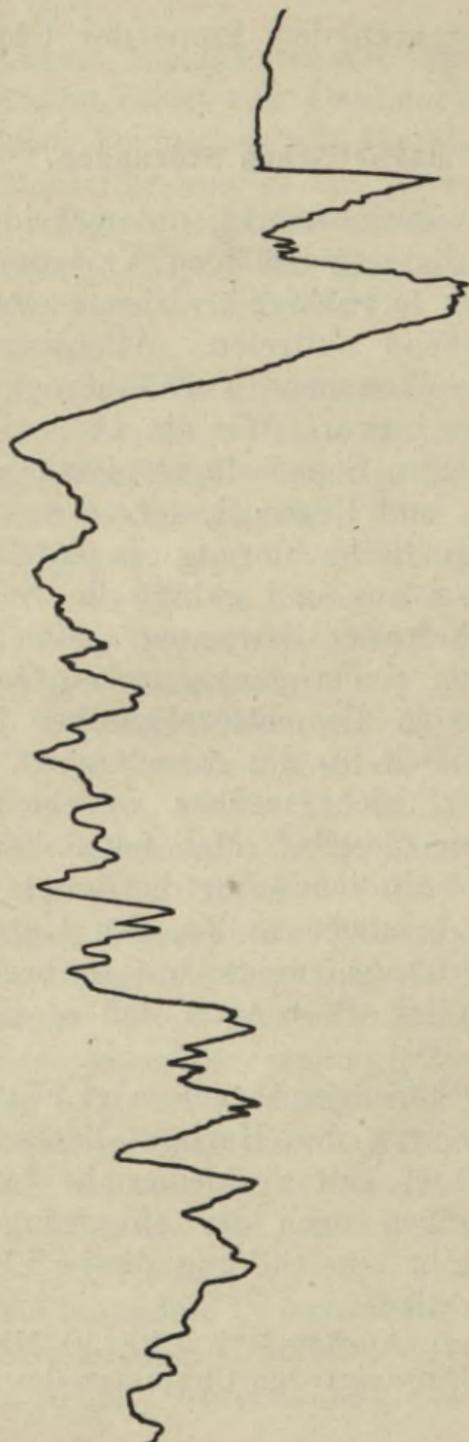


Fig. 6.

Ganges; von 9 Uhr an der absolute Wert auf lange Zeit herabgesetzt (Nachstörung). 1 mm in Höhe gleich 2.6  $\gamma$ .

68. Die Störungen kommen in allen Elementen vor, doch nicht immer in allen gleich stark. In unseren Gegenden ist meist die Horizontalintensität stärker gestört als die Deklination und diese mehr als die vertikale Komponente. Auch ist nicht immer jedes Element gleichzeitig gestört.

69. Betrachtet man einen längeren Zeitraum, so findet man, daß nicht jede Stunde, nicht jeder Monat gleich häufig gestört ist, sondern daß eine tägliche und eine jährliche Variation

der Störungshäufigkeit leicht festzustellen ist. Man spricht von solchen Häufigkeitsverläufen oft ungenauerweise als von täglichen u. s. w. Variationen der Störungen, was zu Täuschungen Anlaß geben kann. Vormittags nimmt die Störungshäufigkeit ab und erreicht um den Mittag ein Minimum, steigt nachmittags sehr schnell an, um von 5 Uhr an sechs Stunden lang maximal zu bleiben. Dies gilt für alle drei Elemente und auch im allgemeinen für die ganze Erde. Die Störungen sind demnach von der Tageszeit abhängig.

70. Auch im jährlichen Verlaufe der Störungshäufigkeit ist das Gesetz in allen drei Elementen dasselbe, nur daß jetzt, gerade wie bei der jährlichen Variation des Erdmagnetismus, zwei Maxima und zwei Minima auftreten. Erstere liegen um den Februar und Oktober, letztere um den Juni und Dezember und zwar auf der ganzen Erde; mithin sind es dieselben Monate, die auch oben (vgl. 58) die Extreme besaßen. Es kann also nicht der Einfluß der meteorologischen Jahreszeiten sein, der die Störungshäufigkeit im Jahre bedingt, folglich auch nicht die meteorologische Tageszeit, die den täglichen Gang der Häufigkeit zu stande bringt.

71. Mit der Annäherung an die Pole nehmen Zahl und Größe der Störungen sehr schnell zu, mithin wächst die Schwierigkeit, sie von dem normalen Gange zu trennen, was dessen Studium in polaren Gegenden erheblich erschwert. So wird z. B. hier das Vektorendiagramm der täglichen Variation, wenn man es aus allen beobachteten Werten berechnet, im umgekehrten Sinne durchlaufen, als das nur aus ungestörten Werten berechnete. Bei der Bedeutung der Polarbeobachtungen für das ganze Studium der nor-

malen täglichen Variation ist daher das Problem der Scheidung von Störung und ruhigem Verlaufe eines der wichtigsten für den Erdmagnetismus.

72. Neben den großen Schwankungen einer Störung sehen wir oft bei verhältnismäßig noch ruhigen Verläufen äußerst lebhaftes Schwingungen kleiner Amplitude und Schwingungsdauer einhergehen. Diese, von Balfour Stewart entdeckten kleinsten Schwankungen heißen nach Eschenhagen „Elementarwellen“ des Erdmagnetismus. Die gesteigerte Empfindlichkeit seiner Variometer (vgl. 14), verbunden mit schneller Bewegung des Registrierapparates, setzte letzteren Forscher in den Stand, diese Erscheinung scharf zu verfolgen.

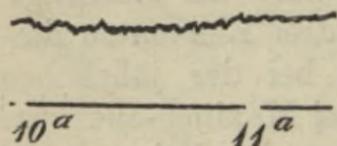


Fig. 7.

Fig. 7 zeigt uns solche Elementarwellen in Horizontalintensität, wie sie sich bei gewöhnlicher Empfindlichkeit ( $1 \text{ mm} = 2.6 \gamma$ ,  $1^h = 22 \text{ mm}$ ) in unseren Gegenden kenntlich machen, Fig. 8 eine zur selben Zeit aufgenommene Feinregistrierung ( $1 \text{ mm} = 0.5 \gamma$ ,  $1^h = 24 \text{ cm}$ ). Die letztere Abbildung entspricht etwa fünf Minuten, die erstere einer Stunde. Selbstverständlich sind Eigenschwingungen des Magneten durch die Bauart der Instrumente unmöglich gemacht.

Oft zeigen diese Elementarwellen an weit voneinander entfernten Orten solche Übereinstimmung, daß weder ein Unterschied im Betrag noch in der Eintrittszeit festzustellen ist. Bei uns sind sie vornehmlich am Tage und dann namentlich in Horizontalintensität zu beobachten, seltener in Deklination. In Batavia treten sie eher in diesem Elemente und häufiger in der Nacht auf. Ad. Schmidt konnte nach-

weisen, daß während einer Zeit, wo solche Elementarwellen in ganz Mitteleuropa beobachtet wurden, die Größe und Richtung der störenden Kraft sich so änderte, als ob ein elektrischer Stromwirbel das Gebiet durchzogen hätte.

73. Hiermit lernen wir eine zweite, noch wenig untersuchte Klasse von Störungen kennen, die dadurch vor den anderen ausgezeichnet sind, daß sie sich nicht augenblicklich in dem ganzen betroffenen Gebiet fortpflanzen, sondern Zeit gebrauchen. Es muß hier genügen, ein typisches Beispiel zu geben. Sehr oft zeigt

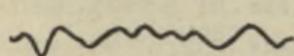


Fig. 8.

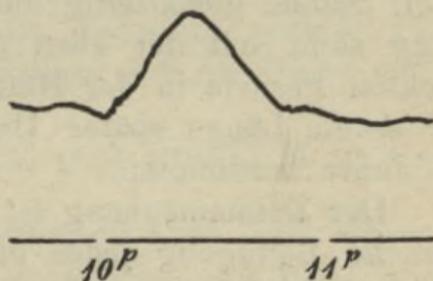


Fig. 9.

ein sonst ruhiger Verlauf eine Störung von der Gestalt der Fig. 9, die mehrere Tage hintereinander in der Form kaum verändert auftritt, dabei aber in immer frühere oder spätere Stunden sich verschiebt. Die Störungsursache, etwa wieder ein Stromwirbel, erhält sich unverändert an Gestalt, verschiebt sich aber im Raum.

74. Nach einer Störung zeigt sich für längere Zeit der absolute Wert gestört, während die Variationen normal werden. Dies läßt sich auf eine zeitweilige Verlegung der magnetischen Achse zurückführen (Nachstörung). Auf die Existenz dieser Erscheinung ist es zurückzuführen, daß nach dem Sabineschen Verfahren

berechnete Störungshäufigkeiten falsche Resultate ergeben können.

### § 17. Die elfjährige Periode.

75. Sobald einmal Observatorien im stande waren, mehrere Jahre hindurch ihr Werk fortzusetzen, entdeckte man mit großem Erstaunen, daß der Betrag der täglichen Amplitude eines jeden Monates durchaus nicht in jedem Jahre derselbe war, sondern erhebliche Änderungen erleidet. Lamont erkannte zuerst, daß hier eine etwa zehnjährige Periode zu Grunde liegt, Sabine gleichzeitig auch, daß sie in Zusammenhang steht mit der eben (1846) von Schwabe entdeckten Periode in der Häufigkeit der Sonnenflecken, für deren Länge später Untersuchungen etwas über elf Jahre bestimmten.

Der Zusammenhang ist fast stets derart, daß die tägliche Bewegung jedes erdmagnetischen Elementes mit der Häufigkeit der Sonnenflecken zu- und abnimmt und zu denselben Zeiten die extremen Werte erreicht wie diese. Nach Paulsen scheint die Beziehung in Godthaab und Point Barrow die umgekehrte zu sein (vgl. 133).

76. Es ist hier nicht der Ort, auf das Wesen der Sonnenflecken näher einzugehen.\*) Welcher Art es auch sei, unzweifelhaft ist, daß diese Gebilde sichere Anzeichen für die Tätigkeit der Sonne sind; auch dürfen wir mit Bestimmtheit erwarten, daß ihr Entstehen und Vergehen große Energieumsetzungen im Gefolge hat, daß sie die Gesamtwärmestrahlung der Sonne heruntersetzen; dies um so mehr, je größere

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 91, Astrophysik.

Flächen sie einnehmen. Als Maß ihrer Anzahl und Ausdehnung führte Wolf die „Sonnenfleckenrelativzahl“ ein.

Die ausgedehnteste Untersuchung verdanken wir W. Ellis. Sein Material bilden die Beobachtungen der Deklination und Horizontalintensität zu Greenwich vom Jahre 1841 an. An Hand seiner Untersuchung geben wir hier folgende Verläufe der Sonnenfleckenrelativzahl und der mittleren jährlichen Amplitude in Deklination und Horizontalintensität (Fig. 10), jedoch erst von 1854 an.

Die Übereinstimmung ist eine sehr große, selbst in Einzelheiten. Der volle Zeitraum umfaßt fünf Perioden. Ihre Länge berechnet sich der Reihe nach: aus Sonnenflecken zu

12.55 11.85 11.40 10.45 11.30 13.05 10.90 9.85 Jahren,  
aus Erdmagnetismus zu

12.50 12.00 11.20 10.50 11.80 13.40 11.20 10.00 Jahren.

Wenn also auch die erdmagnetische Periode bis auf 6 Monate von der Fleckenperiode verschieden sein kann, so ist doch jedenfalls sicher, daß das Wachsen der einen auch ein Wachsen der anderen zur Folge hat. Dennoch ist es nicht ausgeschlossen, daß wir eine Zufälligkeit unseres Jahrhunderts vor uns haben, wenn dies auch wenig wahrscheinlich ist.

Auch die Störungshäufigkeit zeigt die elfjährige Periode.

77. Daß in unserer Figur die Kurven parallel verlaufen, ist durch den Maßstab gegeben. Dennoch ersieht man daraus, daß eine lineare Beziehung zwischen der Sonnenfleckenrelativzahl und der Amplitude besteht. Diese brachte Wolf in die Form  $a = \alpha + \beta r$ , wo  $a$  die tägliche Amplitude im Jahres-

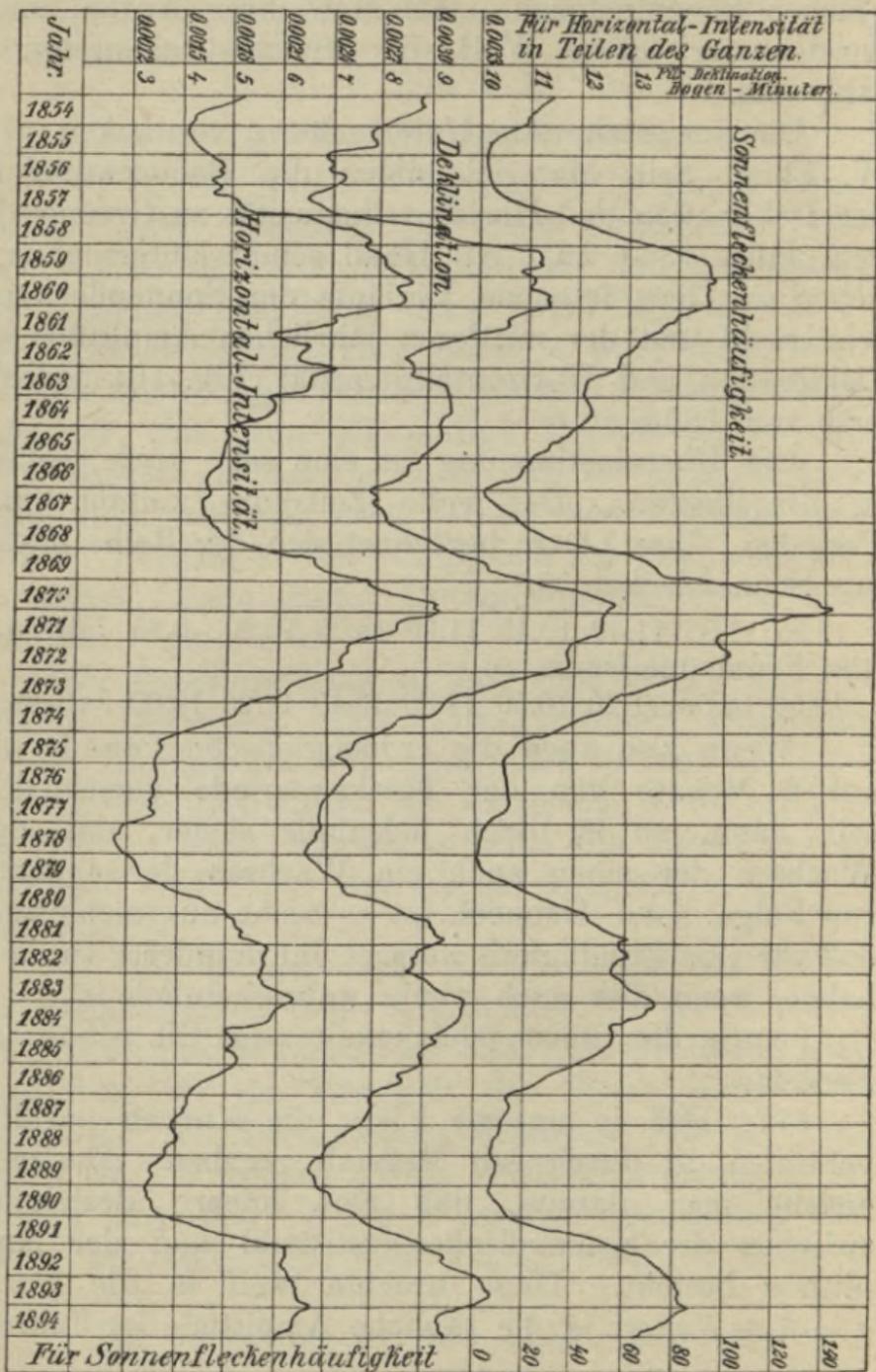


Fig. 10.

mittel,  $r$  die Relativzahl und  $\alpha$  und  $\beta$  Koeffizienten, die aus den Beobachtungen zu berechnen sind. Sie ergeben sich z. B. für Mailand zu  $\alpha = 5'309$ ,  $\beta = + 0'0469$  in Deklination. Sie sind für lange Zeiten und große Gebiete dieselben.

78. Eine bessere Darstellung des täglichen Ganges als durch die Amplitude erhält man durch die harmonischen Koeffizienten, d. i. durch die Größen  $k$ ,  $K$  der Formel 19, denn diese errechnen sich aus dem vollen Verlaufe. Ad. Schmidt stellte nun einen jeden dieser Koeffizienten und zwar der rechtwinkligen Komponenten  $\triangle X$  und  $\triangle Y$  in der Form  $k = \alpha + \beta r$  dar und konnte so zeigen, daß  $\triangle X$  und  $\triangle Y$  aus zwei ganz verschiedenen Anteilen bestehen, von denen der eine von der Sonnenfleckenhäufigkeit abhängt, der andere aber nicht. Folglich besteht die tägliche Variation selbst aus zwei verschiedenen Anteilen.

### § 18. Der Einfluß der Sonne auf den Erdmagnetismus.

79. Wir sahen die Entfernung der Erde von der Sonne und die innere Tätigkeit dieses Zentralgestirnes in einem engen Zusammenhange mit den Variationen unserer Naturkraft, und dürfen daher von einem Einfluß der Sonne auf den Erdmagnetismus reden, auch ohne daß wir uns ein Bild davon machen, wie dieser Einfluß zu stande kommt. Es kann ein direkter, ein indirekter, ein scheinbarer, ein wahrer sein.

80. Nachdem man einmal die Erde als Magneten erkannt hatte, war es naheliegend, auch die Sonne als einen solchen anzusehen, wollte doch Kepler die Schwereanziehung der Sonne auf die Planeten als eine magnetische erklären. Nun muß uns heute aber

bei der Sonne eine permanente Magnetisierung noch unwahrscheinlicher sein, als beim Erdinnern (vgl. 33), da bei ihr auch die Oberfläche glühend ist. Aber diese Möglichkeit selbst zugelassen, würde eine Magnetisierung der Sonne die regelmäßigen täglichen Variationen des Erdmagnetismus nicht erklären können, weder der Größe noch der Art nach. Das System der Kraftlinien der täglichen Variation ist nicht durch die tägliche Drehung der Erde im Felde der Sonne zu berechnen. Um gar den Betrag der Variation zu ergeben, müßte die Sonne stärker magnetisiert sein, als Stahl. Wäre sie dies aber, wider alle unsere sonstige Erfahrung, so müßte die jährliche Variation größer sein, als die tägliche; denn im Laufe eines Tages ändert sich die Entfernung eines Ortes vom Äquator nur um 12 754, während des Jahres aber um 5 Millionen Kilometer. Die Störungen erreichen ihre äußersten Extreme meist innerhalb weniger Stunden, können also nicht auf Rechnung der Erddrehung gesetzt werden, sondern erfordern, daß die Intensität des magnetischen Feldes der Sonne so schnell variiert. Lord Kelvin zeigte, daß, um einen bestimmten, durchaus nicht besonders starken magnetischen Sturm zu erzeugen, die Sonne während 8 Stunden ebensoviel Arbeit hätte leisten müssen, wie allein bei thermischer und Lichtstrahlung in 4 Monaten. Auch die Vorstellung, das Feld der Sonne sei vielleicht ein elektromagnetisches, stößt auf dieselben Schwierigkeiten.

Eine direkte Wirkung der Sonne muß demnach, wenn sie überhaupt besteht, auf andere Weise zustande kommen.

81. Wir wissen, daß uns die Sonne außer Licht noch Wärme zusendet; von diesen Energiearten kann

nach unseren jetzigen Erfahrungen nur die letztere für magnetische Wirkungen in Betracht kommen. Sie besorgt die Erwärmung der festen Kruste, der Meere und der Luft und ist im Verein mit dem Wärmeverlust durch Ausstrahlung die Ursache für alle meteorologischen Umsetzungen und Veränderungen. Es ist zu erwarten, wenn auch noch nicht gemessen, daß die Gesamtwärmestrahlung der Sonne durch das Auftreten der Flecken herabgesetzt wird. Nur so erklärt sich das Auftreten der Sonnenfleckenperiode in allen meteorologischen Elementen. Dieser Umweg über die Meteorologie wäre eine der möglichen Arten indirekten Sonneneinflusses.

82. Es ist jedoch nicht nur die Fleckenhäufigkeit, die sich im Gang der magnetischen Elemente ausspricht, sondern auch der einzelne Sonnenfleck selbst. Während es bei rein meteorologischen Beziehungen zuförderst nötig ist, daß die durch Flecken verminderte Sonnenstrahlung langsam die Temperatur der Luft, des Erdbodens u. s. w. erniedrigt und dann erst magnetisch wirksam wird, zeigt sich doch eine momentane Einwirkung der Sonnentätigkeit auf das Erdfeld.

Ein schönes Beispiel hierzu bietet die Störung am 1. September 1859. Hier beobachtete Carrington zufällig eine plötzliche Veränderung in einem Sonnenfleck auf die Sekunde genau, und es stellte sich an Hand der Registrierungen zu Kew nachher heraus, daß zur selben Zeit eine plötzliche Änderung aller drei Elemente des Erdmagnetismus eingetreten war. Heute werden die Beobachtungen der Sonnentätigkeit bei weitem eingehender vorgenommen und zudem durch Anwendung der Photographie in bleibender

Form festgelegt, so daß an der Unmittelbarkeit des Zusammenhanges nicht mehr zu zweifeln ist. Nach Marchands umfassenden Untersuchungen tritt die maximale magnetische Störung dann ein, wenn der Flecken den Zentralmeridian passiert, d. h. den auf den Erdmittelpunkt zu gerichteten Meridian der Sonne; die Abweichung betrug nie mehr als 36 Stunden, gleich dem 18. Teile der Dauer der Sonnenrotation. Nur kommt es, genauer gesprochen, nicht auf die Flecken in erster Linie an, sondern auf die Sonnenfackeln.

Wir können jetzt, das Frühere ergänzend, sagen, daß dennoch eine direkte Wirkung der Sonne auf den Erdmagnetismus besteht.

83. Die Fackeln sind Ausbrüche glühender Gase, die, die Photosphäre durchbrechend, sich in große Höhen erheben. Sie sind physikalisch nichts anderes als Flammengase. Eine Haupteigenschaft solcher aber ist ihre große elektrische Leitfähigkeit; mit einem sonst isolierten, elektrisierten Körper verbunden, entladen sie ihn sofort. Da aber die Sonne wahrscheinlich in großem Maßstabe Elektrizität erzeugt, bringen die Fackeln und Protuberanzen ein fortgesetztes Ausstrahlen derselben in den Weltenraum zu stande. Hieraus würde sich sowohl die Wirkung des einzelnen Sonnenfleckens bezugsweise der Fackel ergeben, als auch die elfjährige und jährliche Periode der Störungen. Auch daß die Störungen in ihrem Gebiete momentan auftreten, erscheint nunmehr selbstverständlich, nämlich in dem Augenblicke, wo die Sonnenfackel entsteht.

Schon 1731 entwickelte Mairan die Theorie, die Sonne sende fortgesetzt feine Teilchen aus, die, auf der Erde angekommen, die magnetische Nadel beein-

flussen und dadurch die tägliche Variation erzeugen sollten. Ähnlich denkt man sich auch heute die elektrische Wirkung der Sonne nach den Theorien von Bigelow, Birkeland und Arrhenius. Die Fackeln führen elektrisierte Teilchen von der Sonne fort. Einige davon gelangen auf die Erde. Sie strömen nur auf der Tagesseite der Erde ein, müssen mithin eine tägliche Variation des erdmagnetischen Feldes von der beobachteten Form erzeugen. Da die Erde selbst elektrisiert ist, findet das Einströmen längs der Kraftlinien des erdelektrischen und auch des erdmagnetischen Feldes statt, also wesentlich in den Vertikalen: wir stehen wieder vor den vertikalen Erd-Luftströmen des Paragraphen 7. Wir werden diese Vorstellung später noch zu vertiefen haben.

### § 19. Die 26tägige Periode.

84. Hornstein, Liznar u. a. glaubten im Erdmagnetismus eine Periode von 26, genauer 25.87 Tagen entdeckt zu haben; Schuster stellte ihr Bestehen in Zweifel und schob ihr scheinbares Auftreten störenden Umständen zu. Man dachte sie sich durch die Rotation der Sonne um ihre Achse zu stande kommend. Eine magnetische Wirkung der Sonne ist nun nach dem vorigen Paragraphen höchst unwahrscheinlich; in diesem Falle noch ganz besonders, da nur die äquatoriale Komponente der Sonnenmagnetisierung eine Periode von 26 Tagen erzeugen könnte. Eine elektrische Wirkung aber erforderte, daß jedem Punkte der Sonnenoberfläche eine bestimmte elektrische Strahlung zukäme, denn sind alle Punkte gleichwertig, so kann keine Periode auftreten. Nun hat aber Birkeland auf Grund seiner Untersuchungen die Behauptung

tung ausgesprochen, daß die Sonnenflecken hauptsächlich an zwei einander diametralen Punkten der Sonne entstehen, so daß eine 26tägige Periode wenigstens physikalisch wieder erklärbar wäre.

### § 20. Beziehungen der erdmagnetischen Variationen zu den meteorologischen.

85. Da die Ursache der täglichen und jährlichen Variation des Erdmagnetismus ihren Sitz hauptsächlich oberhalb der Erdrinde hat, so ist zu erwarten, daß die gewaltigen Umsetzungen in der Atmosphäre sich in den Variationen des Erdmagnetismus bemerkbar machen; ebensolches ist von den Vorgängen in der Oberflächenschicht der Erdkruste anzunehmen.

86. So weist schon Canton darauf hin, daß am Vormittage der Osten erwärmt werde, die Erde — als Magnet betrachtet — ihren Magnetismus z. T. verliere, mithin die Nadel nach Westen wandre; und zwar nicht nur erst zur Kulmination der Sonne, sondern, genau wie meteorologische Elemente, erst ungefähr zwei Stunden später umkehre. So lange nämlich ist ein Temperaturüberschuß der Westseite noch nicht eingetreten, was nunmehr geschieht: die Nadel wandert nach Ost. Während der Nacht sind keine solche Temperaturunterschiede vorhanden, die Nadel bleibt verhältnismäßig ruhig. So schön die Erklärung aussieht, ist sie doch falsch, denn die Inklination verlangt am Mittag eine stärkere Magnetisierung als Nachts.

87. Eine bei weitem eingehendere Betrachtung stellt die Theorie von Faraday vor. Er hatte durch rühmlichst bekannte Versuche gelehrt, daß der Sauerstoff, wenn auch bei weitem schwächer, so doch dem

Sinne nach wie Eisen magnetisierbar ist. Da dies Gas nun einen wesentlichen Teil der Atmosphäre ausmacht, so wäre es denkbar, daß seine Temperaturänderung, die notgedrungen auch seine Magnetisierbarkeit ändert, erdmagnetische Variationen erzeugen könnte. Die Hauptschwierigkeit dieser Erklärung liegt darin, daß die Wärmeschwankungen rasch mit der Höhe abnehmen, es also nur die alleruntersten Luftschichten sein könnten, die wirksam werden. Die hier vorhandene Sauerstoffmenge reicht aber nicht mehr aus, die ganze Variation zu erklären.

88. Faraday erörtert jedoch auch, wie meteorologische Veränderungen überhaupt zur Geltung kommen können. Vorausgesetzt, daß sie keine elektromagnetischen Kräfte erzeugen, gilt folgendes. Eine meteorologische Veränderung macht sich nicht nur an dem Orte bemerkbar, wo sie entsteht, sondern überall. Denn der ganze Einfluß an Ort und Stelle besteht nur darin, daß die Magnetisierungsfähigkeit hier z. B. vergrößert wird, die Kraftlinien also hier verdichtet, d. h. überall wo anders voneinander entfernt werden. Daraus folgt, nicht die lokale Witterung, sondern nur eine Art Durchschnittswetter eines großen Gebietes kann von Einfluß sein. Es ist also weniger das Wetter, als vielmehr das Klima in Rücksicht zu ziehen.

89. Da die Erddrehung die Strömungen der allgemeinen Zirkulation der Luft\*) je nach ihrer Geschwindigkeit mehr oder weniger vom Meridian ablenkt, diese Geschwindigkeit aber eine tägliche Periode hat, weil die sie erzeugende Sonnenstrahlung am Äquator zu den verschiedenen Tagesstunden ver-

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, Meteorologie, § 30.

schieden ist, so muß, wenn man von der Magnetisierbarkeit des Sauerstoffs ausgeht, eine tägliche Variation der Richtkraft des Erdmagnetismus auftreten, ebenso aber auch eine der Intensität, da bei größerer Geschwindigkeit mehr Sauerstoff in der gleichen Zeit vorbeifließt. Folglich muß sich auch die Windrichtung und Stärke äußern, was in der Tat einige ältere Forscher nachweisen zu können vermeinten; es hat ja auch tatsächlich die Gestalt des täglichen Feldes eine enge Beziehung zur allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre (vgl. 64), wenn man dies heute auch anders erklärt. Faßt man die Luft als elektrischen Leiter auf, so muß in ihr durch ihre Bewegung im magnetischen Erdfelde ein Strom induziert werden. Schuster berechnet hiernach den Einfluß von Ebbe und Flut im Luftmeere.

90. Es hat keinen Zweck, hier des weiteren auf mögliche, vermutete oder gefundene Beziehungen zwischen den Variationen des Erdmagnetismus und denen der meteorologischen Elemente einzugehen, da keine abschließenden Resultate vorliegen. Es genügt, gezeigt zu haben, daß ihre Möglichkeit besteht. Es kann auch nicht fraglich sein, ob sie vorhanden, nur der Betrag ist zu ermitteln. Für solche Untersuchungen dient als Richtschnur, daß eine einmal aufgefundene Beziehung immer dieselbe bleiben muß. Ist sie z. B. im täglichen Verlauf gefunden, so muß sie auch zwischen den jährlichen Variationen des meteorologischen und des erdmagnetischen Elementes bestehen, ebenso zwischen der Änderung mit der geographischen Breite, der Höhe über dem Erdboden u. s. w.; wo nicht, so besteht nur scheinbar ein Zusammenhang.

91. Eine auf dieser Grundlage geführte Unter-

suchung hat dargetan, daß die tägliche Variation des Erdmagnetismus einen Anteil enthält, der nach Art des „solaren Klimas“ variiert, und einen anderen, dem „terrestrischen Einfluß“ verbundenen, also zwei verschiedene Bestandteile aufgefunden. Der Vergleich mit Abschnitt 78 führt uns zu der Anschauung, daß der solare Anteil der täglichen Variation den von der Fleckenzahl unabhängigen Teil, der terrestrische Anteil den durch die Fleckenhäufigkeit bedingten vorstellt.

### § 21. Der Einfluß des Mondes.

92. Es war 1800 der Fuldaer Gelehrte Heller, der zuerst eine Beziehung des Mondes zum Erdmagnetismus vermutete, und zwar glaubte er die Induktion in weichem Eisen vom Alter des Mondes abhängig. Das war bei der Ungenauigkeit seiner Beobachtungen natürlich eine Täuschung, so daß das Verdienst, einen Mondeinfluß wirklich nachgewiesen zu haben, auf Kreil fällt, der 1839 an Hand der Prager Beobachtungen der Deklination, später auch der Horizontalintensität, die Mondvariationen ermittelte. Von ihm unabhängig entdeckte Broun diese ebenfalls. In der Folge haben dann besonders Sabine, Lloyd, Neumayer, van der Stok u. a. das Thema in Angriff genommen.

93. Beim Aufsuchen der durch den Mond erzeugten Variationen ist der Vorteil gegenüber dem Forschen nach anderen der, daß man die Zeitdauer genau kennt, nach der die Variation sich wiederholen muß, d. h. die Periode. Im übrigen ist die Rechenarbeit eine sehr erhebliche. Dies ist wohl der Grund, warum neuere Untersuchungen, z. B. an Hand der Registrierungen, nicht vorhanden sind.

94. Damit der Mond\*) nach einem Erdentage sich wieder im Meridian des Beobachtungsortes befinde, muß eine Zeit von  $24^{\text{h}} 50^{\text{m}} 28^{\text{s}}.3$  verfließen, die man den mittleren Mondtag nennt. Man teilt ihn in 24 Mondstunden ein. Die mondtägige Variation ist in allen Elementen sehr scharf ausgesprochen und zeigt sich überall als eine Doppelschwingung, ganz im Gegensatz zur sonnentäglichen Bewegung.

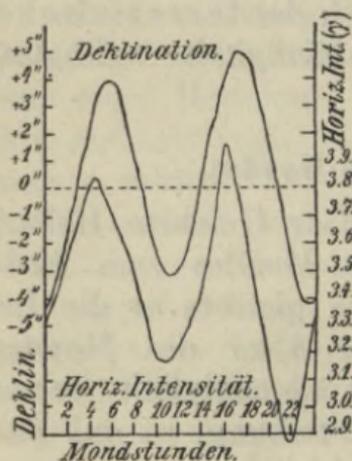


Fig. 11.

doch ist dies bei der Horizontalintensität weniger genau der Fall. Auch die übrigen Elemente zeigen eine ähnliche Variation. Die Amplitude hängt natürlich wieder von dem absoluten Werte ab, um den die Schwingung stattfindet, ist aber bei weitem kleiner als die der sonnentägigen Variation. In den gegebenen Beispielen ist sie in Deklination  $9''.2$  gegen  $7'$  und  $1.2 \gamma$  gegen  $30 \gamma$  im sonnentägigen Verlauf. Das gegenseitige Verhalten der Mondvariationen der einzelnen Elemente an ein und demselben Orte mögen folgende, für Batavia gültige Zahlen erläutern. Die Amplitude der

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 11, Astronomie, § 9.

Mondwelle beträgt hier in Deklination  $8''$ , in Inklination  $4''$ , in allen Intensitäten  $1-1.2 \gamma$ .

95. Die nächste Mondperiode, die für uns in Betracht kommt, ist die Umlaufszeit des Mondes um die Erde und zwar der synodische Monat von  $29^d 12^h 44^m 28^s$ . Diese monatliche Periode entspricht dem Jahre bei den Sonnenvariationen. Demgemäß (vgl. 66) gibt es auch beim Monde zwei Abhängigkeiten: erstens die von der Deklination des Mondes und dann jene von der Mondphase, dem sogenannten Mondalter. Eine Variation mit dem siderischen oder tropischen Monat besteht nicht. Nun hängt in der Tat die Amplitude der mondtägigen Welle von der Deklination des Mondes ab, was sich, wie



Fig. 12.

Neumayer zeigte, als ein Einfluß der

Jahreszeiten ergibt, d. h. genauer gesprochen, davon, ob der Mond mit der Sonne gleichnamige Deklination hat oder nicht. Andere haben Ähnliches gefunden, und es dürfte feststehen, daß in der kalten Jahreszeit die Amplitude kleiner ist, und die Variation unregelmäßiger verläuft, als in der warmen. Broun berechnete nun die mondtägige Welle einmal nur aus Tages- und einmal nur aus Nachtstunden und konnte so zeigen, daß der Verlauf aus der Tageszeit regelmäßiger und  $1-5$ mal größer ist, als der für die einzelnen Monate aus Nachtstunden ermittelte. Dies bedeutet, daß am Tage und im Sommer die Mondwirkung von einer Kraft unterstützt wird, deren Ursache in der Sonne direkt oder indirekt zu suchen ist. Die Abhängigkeit vom Mondalter findet van der

Stok für Batavia in der Art, daß im ersten und letzten Viertel Minima, bei Neu- und Vollmond Maxima auftreten.

96. Die Wirkung des Mondes kann so wenig wie die der Sonne eine direkt magnetische sein, da sie eine Stärke der Magnetisierung verlangt, die unmöglich erscheint. Es fanden nun Broun und van der Stok, daß die Amplitude der Mondwelle zur Zeit der Erdnähe des Mondes zu jener zur Zeit der Erdferne sich wie  $1.23:1$  verhält, während die Entfernungen selbst sich verhalten wie  $1:1.07$ . Nun ist aber  $1.23 = (1.07)^3$ ; folglich verhalten sich die mittleren Amplituden umgekehrt wie die Kuben der Entfernungen, d. h. es gilt dasselbe Gesetz wie für die Höhen der Gezeitenwellen. Hierzu kommt die überraschende Tatsache, daß die Ursache der Mondwelle innerhalb der Erde zu suchen ist. Man denkt an eine Gezeitenwelle der sogenannten festen Erdrinde.

97. Es wäre nun sonderbar, wenn nicht auch die Sonne neben ihren anderen Einflüssen eine Gezeitenwelle gleicher Größe wie die des Mondes besäße; ist dem doch so in den Gezeiten des Meeres. Die Übereinanderlagerung beider ergäbe den Einfluß der Jahres- und Tageszeiten auf die Mondvariationen. Diese Untersuchung ist noch nicht vorgenommen.

## § 22. Der Einfluß der Planeten.

98. Auch der Einfluß der Planeten ist der Rechnung unterzogen worden; so von den Gebrüdern Chambers und von E. Leyst. Auch er ist sicher vorhanden. Es wird sowohl der gesamte Mittelwert, als auch die Amplitude der täglichen Variation beeinflusst;

diese sogar weit stärker. Leyst findet mit Hilfe der scharfen und genauen Deklinationsreihen von Pawlowsk folgende Werte und mittlere Fehler für die Änderung der mittleren Deklination der Tage um die obere und untere Kulmination:

|            |        |         |
|------------|--------|---------|
| bei Merkur | + 0.37 | ± 0.09  |
| „ Venus    | — 0.40 | ± 0.17  |
| „ Mars     | — 0.43 | ± 0.24  |
| „ Jupiter  | — 0.29 | ± 0.17. |

Bei den anderen Planeten ist der mittlere Fehler größer, als der berechnete Einfluß. Die maximale Amplitude der täglichen Variation wird um folgende Prozentsätze geändert (+ = vergrößert, — = verkleinert):

Merkur + 11<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Venus — 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Mars — 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>,  
Jupiter — 19<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Saturn — 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Uranus — 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>,  
Neptun — 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Auffällig ist in beiden Reihen die Sonderstellung des Merkur. Er ist der einzige Planet, der dichter ist als die Erde, also relativ stärker magnetisiert sein könnte als sie und die anderen Planeten.

99. Wir haben oben gesehen, welch einen großen Einfluß die Sonnentätigkeit auf den Erdmagnetismus äußert. Nun zeigt aber Sellmayer, daß die Sonnentätigkeit am stärksten, wenn die Planeten Venus, Erde, Jupiter möglichst in einer Geraden, was alle 11.8 Jahre der Fall ist.

Auf diesem Umwege wäre die magnetische Wirkung der Planeten auf unsere Erde wohl zu erklären; an eine direkt magnetische ist nicht zu denken.

## § 23. Gelegentliche Einflüsse.

100. Von dem Zeitpunkt an, wo man die elektrische Natur des Blitzes erkannte, suchte man zu erforschen, ob mit ihm irgend eine Bewegung der Magnetnadel verbunden ist. Es ist keine Frage mehr, daß dem so ist: es gibt Blitzschläge, die im stande sind, der Nadel nicht nur einen Stoß zu geben, sondern auch ihre Ruhelage zu ändern; es ist aber durchaus nicht die Mehrzahl der Blitze, die so wirken. Oft sind nahe Gewitter vollkommen ohne Einfluß, schwache und entfernte von starker und langdauernder Einwirkung. Arendt vermutet, daß namentlich verzweigte Blitze im stande sind, eine Ablenkung hervorzurufen.

101. Ähnlich ist es mit dem Einfluß der Erdbeben. Es gibt deren solche, die sich deutlich anzeigen, und andere, bei denen dies nicht der Fall ist. Auch hier sind es namentlich die näheren, die nicht zur Geltung kommen. Der Einfluß ist aber jedenfalls kein magnetischer; es ist lediglich die Erschütterung des Instrumentes, was die Nadel ausschlagen läßt. Man erkennt dies daran, daß die Registrierung sich nicht parallel verschiebt, sondern die Nadel wie ein Pendel um ihre Ruhelage schwingt, entweder bis sie sich beruhigt hat oder ein neuer Erdstoß kommt. Die Fig. 12 zeigt die in Potsdam registrierte Störung in Horizontalintensität, die vom Erdbeben im Pamir herrührt, wohl verursacht durch einen Ausbruch des Mont Pelee vom 22. August 1902. Die einzelnen Stöße sind daran erkenntlich, daß zwischen ihnen der Magnet teilweise oder ganz zur Ruhe kommt. Da die fast an jedem Tage vor-

handenen kleinen Unregelmäßigkeiten im Verlaufe der magnetischen Kurven, wie wir wissen, nach Weltzeit eintreten, so ist dadurch die Möglichkeit geboten, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle zu berechnen, wenn man die Registrierungen erdmagnetischer Observatorien miteinander vergleicht. Ein Zusammenhang mit vulkanischen Ausbrüchen ist zwar möglich, aber noch nicht aufgesucht worden.

102. Gelegentlich der Sonnenfinsternis vom 28. Mai 1900 wurden die in der nordamerikanischen Union bestehenden Observatorien durch eine Reihe von fliegenden Stationen ergänzt, um einem etwa eintretenden magnetischen Einfluß durch photographische Registrierung auf die Spur zu kommen. In der Tat zeigte sich eine weder nach Orts- noch nach Weltzeit, sondern mit dem Moment verbundene Störung, wo für den Ort die Intensität der Finsternis eintrat. Die Störung begann und endete mit der Bedeckung der Sonne durch den Mond. Die störende Kraft war stets nach dem Mondschatten gerichtet und hatte ihren Sitz oberhalb der Erdrinde. Ihr Betrag war  $1'$  in Deklination und  $8\gamma$  in Intensität. Durch dies Resultat angeregt, haben 25 über die ganze Erde zerstreute Observatorien nach gemeinsamem Plane auch die Finsternis vom 18. Mai 1901 verfolgt. Soweit die Resultate vorliegen, hat sich wieder ein unverkennbarer Einfluß gezeigt, jedoch, gerade wie übrigens im ersten Falle, nur in der Totalitätszone.

## Der Erdstrom.

### § 24. Geschichtliches; die verschiedenen Arten der Erdströme.

103. In den vorangegangenen Kapiteln haben wir des öfteren von elektrischen Strömen gesprochen, die, an unseren Planeten gebunden, im Stande wären, Erscheinungen des Erdmagnetismus zu deuten. Insbesondere haben wir den permanenten Magnetismus der Erde durch Ströme erklärt, die im wesentlichen von Ost nach West die Erdrinde durchfließen (vgl. 34), und die täglichen Variationen durch Ströme oberhalb der Erdrinde erzeugt gedacht (vgl. 64). Auch Ströme zwischen Erde und Atmosphäre sind wir begegnet (§ 7). Alle diese Ströme sind aber zunächst rein hypothetischer Natur; wir sind noch den Beweis ihrer Existenz schuldig.

104. Nach einigen vergeblichen Versuchen gelangte man 1847, ganz ohne dies bezweckt zu haben, zur Entdeckung, daß tatsächlich Ströme in der Erde bestehen. Dies geschah durch den Telegraphen. Bald nachdem man gefunden hatte, daß es möglich ist, statt eines zweiten Drahtes die Erde selbst als Rückleitung für die Ströme zu benutzen, deren man zum Telegraphieren benötigte, zeigten sich oft auch dann heftige Ausschläge der Magnetnadeln, wenn gar kein Strom in die Leitung eingeschaltet war. Es mußte demnach in der Erdrinde selbst ein Strom entstanden sein, der wegen der vorhandenen Erdverbindung in die Drahtleitung übergetreten war. Es stellte sich auch bald heraus, daß diese natürlichen Ströme zuzeiten

so stark werden können, daß an eine telegraphische Verständigung nicht mehr zu denken war. Dies waren stets Tage magnetischer Störungen, meist auch solche mit Nordlichterscheinungen, so daß an einer ursächlichen Verbindung dieser Erscheinungen nicht mehr zu zweifeln war.

105. Fragen wir uns, wie solche elektrische Ströme zu stande kommen können, so finden wir die Zahl der Möglichkeiten so groß, daß wir uns hier auf die wichtigsten beschränken müssen.

Die Erdrinde besteht aus den verschiedensten Bestandteilen. Durch geologische Verwerfungen, aber auch durch andere Ursachen bedingt, berühren sich oft solche, die in elektrischer Beziehung Verschiedenheiten aufweisen. De la Rive sieht hierin eine Ursache für das Entstehen thermoelektrischer Ströme, da diese Berührungsstellen im Laufe des Tages sich infolge der Sonnenbestrahlung abwechselnd erwärmen und abkühlen.

Wir müssen ferner erwarten, daß alle erdmagnetischen Variationen elektrische Ströme in der Erde induzieren müssen, falls diese ein Leiter ist, woran nicht zu zweifeln ist. Lord Kelvin zeigte, daß in einer 60 Meilen langen Telegraphenleitung allein die normale tägliche Variation des Erdmagnetismus Ströme von 1 Volt Spannung induziert; wieviel größer müssen erst die durch Störungen induzierten Ströme sein. Auch elektrostatische Induktion, z. B. durch Gewitter ist beobachtet worden.

Seit einigen Jahren wissen wir, daß die Luft elektrische Leitfähigkeit besitzt: ein isoliert aufgestellter, elektrisierter Körper wird mit der Zeit entladen. Die Erde selbst ist nun ein solcher und zwar negativ

elektrisierten Körper. Die Atmosphäre muß demnach dauernd eine Entladung hervorzubringen suchen, d. h. es muß ein Wandern positiver Elektrizität von oben nach unten stattfinden, ein elektrischer Verschiebungsstrom auftreten. Da sich der Leiter Luft durch das elektrische Feld der Erde verschiebt, kann auch hier ein Induktionsstrom zu stande kommen. Mithin sind sowohl die oft beregten vertikalen Erdluftströme als auch Ströme in der Atmosphäre denkbar.

Mit den in vorangegangenen Paragraphen erwähnten Stromquellen bilden diese wenigen hier aufgezählten einen Teil der möglichen Ursachen für das, was wir beobachten und Erdstrom nennen.

106. Unser Wissen vom Erdstrom ist noch ein außerordentlich geringes; über viele Grundbegriffe, ja sogar bei den Beobachtungsmethoden ist man noch vollständig im unklaren. Noch nicht einmal das nötige Beobachtungsmaterial ist vorhanden.

#### § 25. Der Erdstrom der festen Rinde.

107. Aus den Beobachtungen an Telegraphenleitungen geht hervor, daß in einem Leitungsdrahte, dessen beide Enden mit der Erde in leitender Verbindung sind, ein Strom auch dann fließt, wenn alle künstlichen Stromquellen ausgeschaltet sind. Dies besagt zunächst nichts weiter, als daß zwischen den so verbundenen Punkten der Erdrinde eine elektrische Spannungsdifferenz besteht, durchaus nicht etwa, daß auch ohne künstliche leitende Verbindung zwischen den Orten ein Strom fließt. Aber dies selbst angenommen, ist es noch durchaus fraglich, auf welchem Wege dieser Strom vom einen zum anderen Punkte fließt. Wahrscheinlich ist dies kein geradliniger, sondern ein

krummer, indem stets die Wege geringsten Widerstandes aufgesucht werden. Hierfür ist die geologische Schichtung, aber auch die Grundwasserverhältnisse maßgebend, wie Bachmetjew zeigte.

Wir dürfen uns den Strom nicht anders denn als einen Flächenstrom vorstellen mit ungleichmäßiger Verteilung der Strömungslinien. Ein guter Leiter wird mehr derselben in sich aufnehmen als ein schlechter. Die Erdrinde erscheint also nicht wie eine metallische Hohlkugel leitend, sondern etwa wie eine Kugel aus Drahtgeflecht und zwar einem von sehr ungleichen Maschen. Hieraus erhellt zur Genüge, wie lokal gefärbt Erdstrombeobachtungen sein können, und daß man sich vor falschen Verallgemeinerungen hüten muß.

108. Außer in Telegraphenleitungen beobachtet man den Erdstrom auch in eigens hergerichteten Kabelleitungen. Man senkt an zwei Orten, deren Verbindungslinie magnetisch Ost-West gelegen ist, je eine „Erdplatte“ bis aufs Grundwasser ein. Es ist dies eine Metallplatte (Kupfer oder am besten Platin) von solcher Größe, daß ihr Übergangswiderstand gegen die Erde genügend klein ist. Diese beiden Erdplatten werden entweder oberirdisch oder durch ein in Erde verlegtes Kabel verbunden. Eine zweite ebensolche Leitung wird zwischen zwei Orten hergestellt, deren Verbindungslinie senkrecht gegen die Ost-Westlinie steht, also in magnetisch Nord-Süd.

Was man mißt, ist nicht allein der Erdstrom, sondern außerdem ein galvanischer, dadurch bedingt, daß die beiden Erdplatten mit dem feuchten Erdreiche und der Leitung zusammen ein galvanisches Element vorstellen, das einen, wenn überhaupt, dann nur gleich-

mäßig veränderlichen Strom hervorruft, den Plattenstrom. Dieser seinerseits erzeugt einen Polarisationsstrom, der ihm entgegengerichtet ist. Beide müssen aus der Messung ausgemerzt werden. Aber auch das Übrigbleibende ist nur ein Teil dessen, das man messen will, denn nur ein Teil des Erdstromes wird durch die Platten in die Drahtleitung übergehen, und da wir nur sehr unsichere Anschauungen über das haben, was wir den Widerstand der Erdrinde zwischen

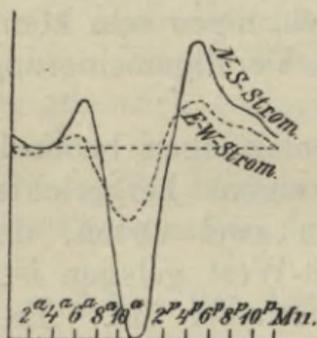


Fig. 13.

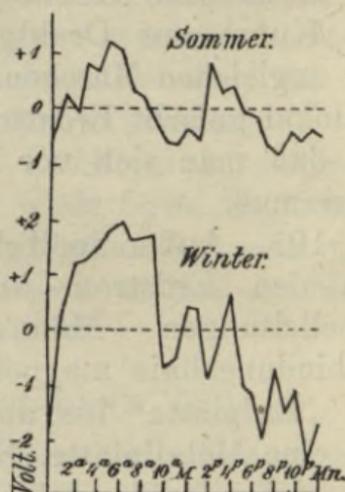


Fig. 14.

den Plattenorten nennen, so wissen wir auch nicht, welchen Anteil des Erdstromes wir im Kabel messen. Es sind deshalb die meisten Angaben über die absolute Intensität oder Stromstärke des Erdstromes sehr unbefriedigender Natur. Hierunter versteht man die auf den Kilometer reduzierte Intensität jenes Stromes, der den permanenten Magnetismus der Erde erklärt (vgl. 34). Jedenfalls reichen die üblichen kurzen Kabelleitungen hier nicht aus. Einfacher sind die Schwankungen des Erdstromes zu ermitteln. Aus Beobachtungen in

gekreuzten Kabellinien erhält man nicht den Erdstrom selbst, sondern seine Komponenten, also etwa die Nord-Süd- und die Ost-Westkomponente. Unter der Annahme, der Strom fließe im Bereich der Kabel geradlinig und horizontal und es gelte das Ohmesche Gesetz, berechnet sich die Stromstärke  $J$  des ganzen Stromes aus derjenigen längs der Nordrichtung  $i_x$  und der Ostrichtung  $i_y$  aus

$$J = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}.$$

Die Schwankungen des Erdstromes werden entweder am Galvanometer unmittelbar abgelesen oder registriert. Hierzu verwendet man, wie beim Magnetismus, mit Vorliebe photographische Registrierapparate, aber auch Rußschreiber.

109. Was die Beobachtungsergebnisse anbetrifft, so ist zunächst zu bemerken, daß an magnetisch gestörten Tagen auch der Erdstrom und zwar unverhältnismäßig mehr gestört ist. Aber auch an Tagen magnetischer Ruhe wechselt sowohl die Richtung als auch die Intensität der Ströme oszillatorisch.

Trotzdem lassen sich aus längeren Beobachtungsreihen regelmäßige Gänge ermitteln.

110. Die Intensität des Erdstromes hat einen ausgesprochenen täglichen Gang, den die Fig. 14 für das Mittel der Jahre 1884—1887 darstellt und zwar gibt die eine Kurve die Variation der Süd-Nord-, die andere die der Ost-Westkomponente des Erdstromes nach Beobachtungen in den Telegraphenleitungen Berlin-Thorn und Berlin-Dresden. Der Verlauf beider Komponenten ist also dem Charakter nach der gleiche, nur ist die Schwankung der Nordkomponente größer. Zwischen den einzelnen Jahren zeigt sich

kaum ein Unterschied. Die Amplitude dieser täglichen Variation des Erdstromes ist einer jährlichen Variation unterworfen, die aber nicht so einfach ist, als bei den magnetischen Elementen. An verschiedenen Orten ergeben sich verschiedene tägliche Verläufe.

111. Die Richtung der Erdströme wurde meist von SW nach NE gehend gefunden. Bei kleinen Kabeln beobachtete Bachmetjew auf verhältnismäßig beschränktem Raume jedoch große Richtungsverschiedenheiten, d. h. die lokale Strombahn kann weit von der allgemeinen abweichen (vgl. 107). Im Laufe eines Tages schwankte in Sofia die Richtung von  $26^{\circ}5$  um 1 Uhr nachmittags und  $35^{\circ}5$  um 5 Uhr nachmittags, gezählt vom magnetischen E nach N, also im Laufe des Tages um  $9^{\circ}$ .

112. Für die Stromspannung, reduziert auf den Kilometer, findet Wild für Pawlowsk den Wert 0.05 Volt, Bachmetjew Werte von 1.12 bis 0 Volt. An ein und demselben Orte kommen an verschiedenen Tagen recht verschiedene Schwankungen vor, die von 1.04 bis 0.02 Volt auf 1 km beobachtet wurden. Der tägliche Gang der elektromotorischen Kraft des Erdstromes ist im Nordsüdstrom im Winter am größten, im Sommer am kleinsten, in der anderen Komponente in beiden Jahreszeiten gleich groß; steht mithin in Gegensatz zu erdmagnetischen Variationen, dagegen im Einklang mit dem täglichen Gange des elektrischen Potentialgefälles der Atmosphäre,\*) das ebenfalls im Winter stärkere Schwankungen erleidet

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, Meteorologie, 2. Aufl., S. 114.

als im Sommer. Die Fig. 15 zeigt als Beispiel den täglichen Gang der Spannung des Nord-südstromes in Pawlowsk für Sommer und Winter.

113. Von ganz besonderem Interesse sind die Erdströme, wie man sie in Kabeln mißt, die nicht in der Horizontalen verlegt sind, sondern wo die beiden Endplatten sich in verschiedenen Höhen befinden. Hier ergibt sich, daß die Erdströme von allen Seiten den Berg hinanfließen. Dies zu erklären, müssen wir annehmen, daß die Berge bestrebt sind, eine sogenannte Spitzenwirkung hervorzurufen: sie suchen die Erd-elektrizität zu zerstreuen. Erinnern wir uns dessen, was wir oben über die Spitzenwirkung der Flammengase notiert haben (vgl. 38), so werden wir begreifen, wenn Palmieri in den Erdstrommessungen am Vesuv nicht nur einen starken Einfluß der vulkanischen Tätigkeit feststellte, sondern auch keine regelmäßige tägliche Schwankung des Erdstromes hat finden können. Der Zufluß an Elektrizitätsmengen ist eben durch die Spitzenwirkung der heißen Vulkangase ein viel zu großer, als daß die geringen variierenden Kräfte zur Geltung kommen können.

### § 26. Reine Induktionsströme.

114. Stellt man einen genügend großen, in sich geschlossenen, von außen isolierten Leitungsweg her und schaltet in ihn ein Galvanometer ein, so verrät dieses einen fortgesetzten, oszillatorisch verlaufenden Strom, dessen Quelle die erdmagnetischen Variationen sind. Sie erzeugen ihn durch Induktion. Seine Stärke berechnet sich aus dem Flächeninhalt des Leitungsweges und aus der Geschwindigkeit, mit der sich der Erdmagnetismus ändert.

Giese, der diese Methode während des Polarjahres 1882/83 auf der deutschen Station Kinguafjord anwandte, legte ein Kabel so aus, daß es ganz in einer Horizontalebene lag und einen möglichst großen Flächenraum umspannte. Es induziert dann nur die Vertikalintensität. Die Verarbeitung der erhaltenen Beobachtungen zeigte, daß keine andere Stromquelle nötig war, die Werte zu erklären. Da nun aber der Kabelstrom vielmehr Schwankungen zeigte als die Vertikalintensität, so müssen wir notwendigerweise folgern, daß die Magnetometer nicht empfindlich genug waren, die kleinsten Oszillationen des Erdmagnetismus zu erkennen. Die mittlerweile durch Eschenhagen so hoch empfindlich gemachten Variometer (vgl. 14) lassen über die Existenz solcher Oszillationen, auch beim Erdmagnetismus, keinen Zweifel mehr.

### § 27. Vertikale Erd-Luftströme.

115. Wir wissen,\*) daß der Unterschied des Potentials der Erde gegen das in einem Orte in ihrer Atmosphäre um so größer wird, je mehr wir uns von der Erdoberfläche entfernen. Verbinden wir daher einen Punkt der Atmosphäre irgendwie leitend mit der Erde, so darf man einen Ausgleich der Spannungsunterschiede erwarten; nur sollte man vermuten, dieser gehe momentan vor sich, als einmaliger Stromstoß. Dies schien denn auch aus den allerersten Beobachtungen dieser Art hervorzugehen: aus den bekannten

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, Meteorologie, § 46.

Drachenversuchen von Franklin, denn die Entladung ging in einzelnen Funken von statten. Später haben Colladon, Quetelet und Lamont Versuche an Blitzableitern angestellt und in ihnen dauernde Entladungsvorgänge bemerkt.

Die neueren umfangreichen Beobachtungen von Lemström haben nun dargetan, daß in der Tat zwischen einem auf Bergen oder hohen Türmen aufgestellten „Spitzenapparat“ und einer Erdplatte im Tal fortgesetzte Ströme, ganz von dem Charakter der Erdströme zwischen zwei Platten auftreten. Es ist klar, daß ein solcher Strom nicht in dem Betrage zu stande kommen kann, wenn die metallische Leitung fehlt, aber wir müssen schließen: Da bei einer leitenden Verbindung ein dauernder Strom zwischen Atmosphäre und Erde gefunden wurde, so existiert eine Elektrizitätsquelle, die im stande ist, den Potentialunterschied wiederherzustellen, der durch die Entladung zum Ausgleich gebracht wurde. Da aber weiter der mittlere elektrische Zustand der Luftschichten erhalten bleibt, so muß auch ohne metallische Verbindung ein fortgesetzter Ausgleich stattfinden, der in seiner Wirkung nach außen einem vertikalen elektrischen Strom von der Luft nach der Erde gleichkommt.

### § 28. Erklärungsversuch des Wesens der Erdströme.

116. Wir sind nunmehr fähig, uns ein zusammenhängendes Bild vom Wesen des Erdstromes zu bilden. Wir bedürfen hierzu keiner neuen Hypothesen, sondern erweitern nur, was wir im § 18 über die Einwirkung der Sonne auf den Erdmagnetismus ausführten.

Soviel Elektrizitätsquellen sicherlich auch an der Herstellung des elektrischen Potentials beteiligt sind, so ist zweifelsohne, daß die beständige Eruptionstätigkeit\*) der Sonne einen mittleren Zustand der Erde bedingt. Aber gerade wie die Sonnenfackeln (vgl. 83) die stoßweisen magnetischen Störungen hervorrufen, kann auch diese dauernde Eruptionstätigkeit keine gleichmäßige Änderung erzeugen, sondern eine oscillatorische. Dies zeigt sich magnetisch in den Elementarwellen des Erdmagnetismus, elektrisch in den Erdströmen.

Das zuerst Gegebene kann nicht die magnetische Wirkung sein, sondern, wie wir § 18 sahen, nur die elektrische. Mithin ist die Erdelektrizität das Mittelglied zwischen Sonnentätigkeit und Erdmagnetismus. Infolge des luftelektrischen Potentialgefälles fließt dauernd ein in Intensität schwankender elektrischer Strom von oben nach unten, wobei Gebirge und namentlich Vulkane einen störenden Einfluß besitzen. In Hohlräumen, besonders unterhalb der Vegetationsdecke, findet das Einströmen der Elektrizität in den festen Erdkörper statt. Da aber die elektrische Leitfähigkeit der Luft sowohl, als die elektrische Bestrahlung durch die Sonne von der Tages- und Jahreszeit abhängt, muß die Zufuhr von Elektrizität ebenfalls hiervon beeinflußt sein, es müssen sich Schwankungen in der elektrischen Potentialdifferenz zwischen zwei Orten der Erdoberfläche ergeben, d. h. Erdströme bestimmter Richtung auftreten. Daß diese Richtung variiert, die Stromstärke und die Spannung sich ändert, ist wohl von selbst verständlich.

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen, Nr. 91, Astrophysik.

### § 29. Beziehungen zwischen Erdstrom und Erdmagnetismus.

117. Unsere ursprünglich hypothetischen Erdströme, die den permanenten Erdmagnetismus erklären sollten, sind nunmehr durch beobachtete ersetzt. Es reicht jedoch die Genauigkeit, mit der der konstante Erdstrom gemessen wurde, noch nicht aus, irgendwelche rechnerische Prüfung vorzunehmen. Sie käme, wie Weinstein gezeigt hat, darauf hinaus, aus den Beobachtungen des Stromes sein magnetisches Potential für die ganze Erde in der Gaußschen Kugelfunktionsdarstellung zu liefern und die so erhaltenen Koeffizientenwerte mit den erdmagnetischen zu vergleichen. Das ist noch eine Aufgabe der Zukunft; augenblicklich stehen wir auf einem Standpunkte, der etwa dem entspricht, den unser Wissen vom Erdmagnetismus Mitte des 18. Jahrhunderts einnahm.

118. Wir sehen nunmehr aus den Erdstrombeobachtungen an Bergen, daß jedes Gebirge, auch wenn es nicht aus magnetisierbarem Gestein besteht, einen scheinbaren Erdmagnetismus besitzen muß, eben das magnetische Feld des in ihm ansteigenden Stromes, also ungeeignet ist, die Änderung des Erdmagnetismus mit der Höhe ermitteln zu lassen.

119. Von den Variationen des Erdstromes sollte man erwarten, daß diejenigen der Komponente parallel magnetisch Nord-Süd die Variationen der Deklination, die der anderen Komponente jene der Horizontalintensität erzeugen. Eine Anzahl von Forschern findet dies bestätigt, die Mehrzahl nicht. Dieser Zusammenhang ist jedoch sofort zu finden, sowie eine Störung ausbricht. Hier ist der Gang des Erdstromes dem

des Erdmagnetismus sehr ähnlich, nur daß die Schwankungen des letzteren mehrere Minuten später eintreten, als die des Stromes, der daher als das Primäre sich auch hier zu erkennen gibt.

Die Erklärung dieser Verschiedenheit gibt uns der nächste Paragraph.

### § 30. Beziehungen des Erdstromes zu meteorologischen Elementen.

120. Da ein Teil der erdelektrischen Vorgänge in der Atmosphäre sich abspielt, so sind meteorologische Einflüsse von vornherein zu erwarten. Es muß sowohl die Leitfähigkeit der Luft, als auch der Sonneneinfluß von Temperatur, Wasserdampfgehalt, Luftdichte, Bewölkung u. a. m. abhängen, ebenso aber auch die Leitfähigkeit des Bodens. Und zwar ist beim Erdstrom — und dies ist der wesentliche Unterschied gegen den Erdmagnetismus — schon das lokale Wetter von allergrößtem Einfluß, wie sich dies namentlich bei Regenfällen zeigt.

Der Regen führt die Elektrizität der oberen Schichten mit Gewalt auf die Erde und ruft daher, wo er niedergeht, ein anormales elektrisches Potential hervor, das die Erdströme der ganzen Umgegend stört. Bachmetjew machte direkt das Experiment, den Erdstrom durch Berieseln des Grundes um die Erdplatten zu beeinflussen, was ihm gelang.

Am bedeutendsten fand er den Zusammenhang mit den Schwankungen des Grundwassers.

121. Der ungestörte Erdstrom hat demnach ganz die Natur meteorologischer Elemente, mithin muß von seinem Einflusse auf die Variationen gelten, was wir

in Abschnitt 88 als maßgebend für den meteorologischen Einfluß direkt auf den Erdmagnetismus angeführt haben: es kommt nicht auf die lokalen Umstände an, sondern auf die Erdstromverhältnisse eines größeren Gebietes. Es ist wohl die Ansicht der meisten Erdmagnetiker, daß sie überhaupt den meteorologischen Einfluß auf den Erdmagnetismus sich als einen indirekten, über die Erdelektrizität hinüber erfolgenden vorstellen. Doch werden wir noch lange einer wirklichen, befriedigenden Bestätigung ermangeln.

## Das Polarlicht.

### § 31. Erscheinungsformen des Polarlichtes.

122. Wenn wir einen Gürtel von etwa 25 Breite ausnehmen, der den Äquator rings umzieht, so ist in allen übrigen Gebieten von Zeit zu Zeit eine Erscheinung zu beobachten, deren verschiedene Formen man unter dem Namen des Polarlichtes zusammenfaßt. In je höhern Breiten man wandert, um so häufiger hat man auf beiden Erdhälften die Gelegenheit, diese Erscheinung zu sehen, und desto prächtiger bietet sie sich unseren Blicken.

In Deutschland ist sie seltener, aber immerhin häufiger, als der Laie vermutet. Ja, in seinen Nebenformen ist das Polarlicht gar nicht so selten. Allerdings dürfte es dem Städter oft entgehen, denn, wenn er auch zufällig sich auf freiem Felde befinden sollte, so stört ihn doch oft der helle Lichtschein seines Wohnortes. Auch unsere verhältnismäßig starke Bewölkung um die Zeit der größten Häufigkeit oder

gar das Mondlicht sind die Ursache, warum uns viele hierher gehörige Erscheinungen entgehen.

123. Um so wichtiger ist es für jeden, daß er sich nicht mit dem reinen Anstaunen der überirdischen Erscheinung begnüge, sondern sie auch ein wenig beobachte. Es kann hier mit einfachen Mitteln viel erreicht werden. Es ist schon ein wertvoller Beitrag, wenn an geeigneter Stelle folgende drei Dinge mitgeteilt werden: 1. der Ort, wo man sich befand, so genau, daß man ihn auf einem Plane der Umgegend auffinden kann; 2. die Zeit, wo eine besonders ausgesprochene Veränderung auftrat (s. u.), mit Angabe, wie falsch die Uhr im Vergleich zu einer Normaluhr stand (Bahnhof- oder Postuhr); 3. die Richtung, entweder nach Himmelsrichtungen oder nach Ortschaften, Gebäuden u. s. w., die sich vor dem Polarlicht befinden. Als geeignete Stellen, wohin man solche stets dankenswerte Mitteilungen gelangen lassen könnte, seien die meteorologischen Zentralanstalten der betreffenden Länder genannt. Nachrichten an Tageszeitungen gehen oft für die Wissenschaft verloren.

124. Je nachdem das Polarlicht auf der Nord- oder Südhalbkugel auftritt, spricht man von einem Nordlicht oder einem Südlicht. Irgend eine wesentliche Verschiedenheit zwischen beiden besteht nicht.

Ein voll ausgebildetes Nordlicht ist in unseren Gegenden sehr selten; meist kommen nur seine einfachen Formen zur Beobachtung. Die Übersicht dieser Formen, wie wir sie im folgenden geben, entspricht auch im allgemeinen der Reihenfolge, in der sie im einzelnen Nordlicht einander ablösen. Man unterscheidet nach Weyprecht:

1. Bogen, meist weiße regenbogenartige Gebilde,

für uns am häufigsten am Nordhimmel entstehend. Nach unten sind sie scharf begrenzt, so daß das umschlossene Stück unterhalb des Bogens gegenüber dem anderen Himmelsgewölbe besonders dunkel erscheint. Dieser Teil führt daher den Namen dunkles Segment. Bei einer höheren Art der Entwicklung sind die Bogen der Länge nach gestreift, wie etwa die Regenbogen auch. Wünschenswert sind hier Angaben über die Himmelsrichtung, wo die Enden des Bogens auf dem Horizont aufruhend, über die Höhe der höchsten Stelle (etwa danach, wie oft man den Vollmond sich übereinander denken müßte; Angaben in Metern oder nach Größe der Gegenstände sind unbrauchbar) und über die Farbe.

2. Fäden; es dauert gewöhnlich nicht lange, bis unbemerkt Strahlen sich gebildet haben, die sternartig vom Mittelpunkt des Bogens auszugehen scheinen, etwa wie bei einem Fächer.

3. Strahlen; diese Gebilde schießen im Gegensatz zu den Fäden mit großer Geschwindigkeit aus dem Bogen auf, erheben sich erst nicht hoch, später aber selbst bei uns oft über das Zenit hinaus. Sie sind mit Vorliebe weiß, violett oder rot. Oft wandern sie längs des Bogens seitwärts weiter. Ihre Beobachtung ist von der größten Wichtigkeit für das Studium der Erscheinung, namentlich um die Höhe und den Ort zu bestimmen, wo sich das Nordlicht befindet. Um aus den vielen Strahlen, die an den verschiedenen Orten beobachtet sind, nicht zwei oder gar mehrere miteinander zu verwechseln, muß man die Zeit seiner Entstehung kennen. Danach aber ist das Wichtigste die Höhe, bis zu welcher er aufsteigt. Diese läßt sich entweder abschätzen (Winkel vom Horizont bis zum

Strahlenende) oder gar genauer dadurch bestimmen, daß man die Sterne und Sternbilder angibt, durch die der Strahl hindurchgeht und in denen er endet. Viel bleibt hier dem Scharfsinn des Beobachters überlassen, dem vielleicht ein oder die andere geometrische Erinnerung aus seiner Schulzeit zu Hilfe kommt.

Mit diesen Formen ist gewöhnlich bei uns ein Nordlicht auf seinem Höhepunkte angelangt. Oft aber tritt nach einem Rückgange eine neue Belebung ein und neues Strahlenschießen auf.

4. Nordlichtdunst; hat die Nordlichttätigkeit aufgehört, so verbleibt in der Gegend seines Erscheinens ein gewisser heller Dunst übrig, für den man keine bestimmte Gestalt angeben kann. Während eines Nordlichts kann dieser Nordlichtdunst ebenfalls auftreten und dann meist in ganz anderen Gegenden des Horizontes wie das Nordlicht selbst.

5. Bänder; in den Gegenden größerer Nordlichthäufigkeit nehmen die Bogen oft zunächst eine Streifung senkrecht gegen die Erstreckung an und lösen sich mit ihrem einen Ende am Horizonte ab; dabei gerät die ganze Erscheinung ins Wellen und Wogen. Das Ende schlängelt sich über den übrigen Himmel und rollt sich oft spiralig auf, etwa wie eine Uhrfeder. Womöglich verläßt auch das andere Ende den Horizont und es entsteht ein Ring. Es kommt auch vor, daß beide Enden noch am Horizonte, jedoch einander näher gerückt sind, und das Mittelstück allein hebt sich empor. Auch schlangenförmige Gebilde sind möglich, die frei in der Luft schweben. Alle diese Erscheinungen faßt man unter dem Namen der Bänder zusammen. Wer der glückliche Beobachter einer solchen wirklich unvergleichlichen Erscheinung

ist, tut am besten daran, eine Skizze von ihr anzufertigen und einzusenden.

6. Nordlichtkrone; überschreiten Bänder oder mehrere Strahlen das Zenit, so besteht die Neigung, eine Nordlichtkrone zu bilden; sie übertrifft an Pracht und Schönheit selbst die Bänder. Von ihr aus oder nach ihr hin scheinen Hunderte von Strahlen zu gehen; der Art nach etwa vergleichbar mit einer Feuerwerksonne, übertrifft sie dies armselige Menschenwerk an Großartigkeit bei weitem. Meist ist auch sie in lebhafter Bewegung, manchmal um ihren Mittelpunkt sich drehend, meist flackernd und hin und her pendelnd. Auch hier ist eine Skizze von Wert, aber auch eine möglichst genaue Angabe von Höhe und Himmelsrichtung der Krone.

7. Draperie; das Draperienordlicht hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den Bändern und ist dadurch ausgezeichnet, daß es den Eindruck eines in der Luft schwebenden faltigen Vorhanges macht, wonach es auch seinen Namen führt. Es ist stets senkrecht gestreift, oben verliert es sich, nach unten ist es scharf begrenzt. Von der Ferne gesehen sieht es breit und hoch aus, beim Überschreiten des Zenits sehen wir nur eine dünne leuchtende Schlangenlinie, den Querschnitt der Draperie. Demnach ist sie nur ganz dünn.

Bei uns sind allermeist nur Bogen, Fäden, Strahlen und etwa Nordlichtdunst gleichzeitig vorhanden. In den Polargebieten können alle Formen gleichzeitig und wohl gar mehrere ein und derselben Art vorkommen; auch ist die Veränderlichkeit der Erscheinung hier größer. So ziehen die Bänder häufig von Nord nach Süd und umgekehrt, zerreißen, bilden sich neu, ändern ihre Gestalt und Farbe und sind besonders

bald nur in langsamem Wallen begriffen, bald in rasender Geschwindigkeit von Lichtwellen durchflutet. Je südlicher man sich auf unserer Halbkugel befindet, desto ärmer wird der Formenreichtum des Nordlichtes, bis wir schließlich nur einen fernen Feuerschein zu sehen vermeinen. Nicht hiermit zu verwechseln ist die helle Abenddämmerung der Mittsommerzeit Mai—Juni—Juli.

### § 32. Die Verbreitung der Polarlichter über der Erde.

125. Die Verteilung der Nordlichter ist von Fritz eingehend untersucht worden, diejenige der Südlichter neuerdings ebenfalls und zwar von Boller. Wir wenden uns zunächst den ersteren zu.

Hier reichen die Beobachtungen aus, Kurven zu zeichnen, die die Orte gleicher Nordlichthäufigkeit verbinden. Diese Linien umrahmen beide Pole, den geographischen und den magnetischen; infolgedessen haben sie nicht kreisförmige, sondern ovale Gestalt. Die Gegend ihres gemeinsamen Mittelpunktes nannte Nordenskiöld den Nordlichtpol.

Die Zone größter Häufigkeit berührt das Nordkap, das Kap Tscheljuskin, d. i. die nördlichste Spitze Asiens, geht dann parallel mit der asiatischen Nordküste weiter, durch den Nordrand von Alaska, den Sklavensee, die Hudsonbai, Labrador und südlich von Island vorbei, zurück; sie liegt also nicht etwa im Nordlichtpol selbst. In dieser Zone ist die Häufigkeit über 100 im Jahre. Nach noch höheren Breiten zu nimmt sie wieder ab. Nach Süden nimmt die Zahl der Nordlichter sehr schnell ab. In Deutschland ist sie etwa 2 im Jahre, in Südeuropa gar nur noch 1 in zehn Jahren.

Da die Südhemisphäre der Erde überwiegend Wasserbedeckung hat und von Europäern erst verhältnismäßig kurze Zeit bewohnt oder befahren wird, so reichen die vorhandenen Beobachtungen nur zu annähernden Schätzungen aus. Danach scheint die Häufigkeitszone hier innerhalb eines Kreises zu liegen, der den magnetischen Pol als Zentrum umgibt und dessen Halbmesser  $38^{\circ}$  beträgt. In diesem Gebiet ist die Häufigkeit aber ungleichmäßig. Von den Kontinenten weist Australien die größte Häufigkeit auf, danach kommt Südafrika; die meisten Südlichter wurden auf Neuseeland und Tasmanien beobachtet, gar keine merkwürdigerweise in Argentinien und nur einige wenige in Chile.

126. Man unterscheidet zwischen „allgemeinen“ und „lokalen“ Nordlichtern, je nachdem sie in weitem Gebiete zu beobachten sind oder beschränkte Ausdehnung besitzen. Von den bei uns sichtbaren kann man behaupten, daß sie stets allgemein sind. So erstreckte sich die Sichtbarkeit des Nordlichtes vom 9. September 1898 über Mittel-, Nord- und Westeuropa. Die damit verbundenen magnetischen Störungen sind auf der ganzen Erde eingetreten. Arc-towski beobachtete zur selben Zeit unter  $70^{\circ}$  südlicher Breite und zwar durch mehrere Tage Südlichter. Es ist klar, daß eine räumlich so ausgedehnte Lichterscheinung von einem Betrachter außerhalb der Erde als ein Eigenlicht unseres Planeten aufgefaßt werden muß.

In den eigentlichen Nordlichtgegenden mehrt sich die Zahl der örtlich beschränkten Polarlichter. So waren während eines bestimmten Zeitraumes z. B. in Finnland 55 Prozent aller Tage Nordlichttage. 72 Pro-

zent dieser letzteren wiesen gleichzeitig in Europa und Amerika Nordlichter auf, 9 nur in Europa und 19 Prozent gar nur in Finnland.

### § 33. Lage des Polarlichts.

127. Eine der naheliegendsten Fragen ist die nach der Höhe, in der sich die Erscheinung abspielt. Auch hier verleugnet sich nicht ihre Großartigkeit. Nicht nach Metern ist sie auszudrücken, sondern nach Kilometern und Meilen. Das Polarlicht ist im vollen Sinne des Wortes eine überirdische Erscheinung.

Die meisten Höhenbestimmungen geschehen mit Hilfe der Parallaxenmethode. Hat man von zwei Orten aus, deren Entfernung voneinander man kennt, ein und denselben Punkt des Nordlichtes mit einem Winkelmeßinstrument eingestellt, so läßt sich der Winkel leicht berechnen, den die Richtungen von den Beobachtungsortern nach dem Nordlicht miteinander einschließen. Dieser Winkel heißt die Parallaxe. Aus ihr und der Entfernung der Orte läßt sich der Ort, wo zu der betreffenden Zeit der eingestellte Nordlichtpunkt sich befand, berechnen und somit auch die Höhe über der Erde. Selbstverständlich hat dies bei der Unschärfe vieler Nordlichtformen und ihrer Beweglichkeit große Schwierigkeiten. Man wird selten denselben Punkt treffen. Andere als die Parallaxenmethode gehen stets von gewissen Annahmen über den Aufbau des Nordlichtes aus, so daß sie zu Täuschungen leicht Anlaß geben können.

Schon die allerersten Messungen, von Mairan berechnet, ergaben über Erwarten große Höhen, nämlich 260, 250 und 160 Meilen, doch war hier die Grundlage noch eine zu unsichere. Genauere Messungen

von Nordlichtern lieferten für den unteren Rand der Bogen, also die Begrenzung des dunkelen Segmentes, für Mitteleuropa Höhen von 23—200 km, für die obere, allerdings meist unscharfe Begrenzung aber über 1000 km. So stand der Bogen des Nordlichtes vom 9. September 1898 in etwa 70 km Höhe über einem Gebietsstreifen, der sich von Kurland über Malmö, Schleswig und Manchester hinzieht. Der Scheitel des Bogens lag über Korsör in etwa 103 km Höhe. Erscheinen diese Höhen schon recht beträchtlich, so werden sie dennoch von denen der Strahlen übertroffen. So ergibt sich als Höhe der obersten Spitze des großen Strahles um 9<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> 67 Meilen oder 502 km. Dabei hat er sich übrigens noch 4 km in der Minute seitlich bewegt. Die höchste berechnete Höhe ist wohl die von 1945 km für den unteren und 3654 km für den oberen Rand eines am 18./19. August 1893 unter 36° südl. Breite beobachteten Südlichtes.

128. Diesen Resultaten gegenüber mußte um so mehr auffallen, daß viele Reisende in arktischen Gegenden Nordlichter von ganz geringer Höhe beobachteten. Hier in diesen Gebieten sind neben den üblichen hohen nicht nur Nordlichter von nur wenigen Kilometern Höhe oft gemessen worden, sondern auch solche, die unmittelbar auf der Erdoberfläche aufliegen; ja Gissler will das Nordlicht in Schweden oft um sich herum haben entstehen sehen. Jedenfalls kommt es sehr häufig vor, daß die Erscheinung sich unter den Wolken abspielt und daß Berge, Häuser oder andere irdische Gegenstände durch sie hindurch zu sehen sind. Mit Vorliebe kleben an Bergspitzen flammenartige Nordlichtgebilde oder schweben über ihnen zu

Ringen geschlossene Bänder. Solche niedrigen Polarlichter kommen jedoch nur in der Gegend großer Nordlichthäufigkeit vor.

129. Es leuchtet ein, daß ein Nordlicht an allen Orten, die südlicher liegen als die Erscheinung, am Nordhimmel gesehen werden muß. Befindet man sich aber nördlich von ihm, so muß es in Süd stehen. Letzteres ist für uns ein sehr seltener Fall, aber z. B. sogar einmal für Marseille verzeichnet. Man hat der Frage nach dem Azimut der Polarlichter eine eingehende Beachtung geschenkt, da man anfänglich der Meinung war, die höchste Erhebung z. B. des dunklen Segmentes stehe stets im magnetischen Meridian. Bei uns ist dem auch meist so; z. B. war jenes Azimut beim Nordlichte am 9. September 1898  $12^{\circ}$  von Nord nach West; da die westliche Deklination bei uns  $10\text{--}12^{\circ}$  je nach dem Beobachtungsorte ist, so besteht hier fast volle Übereinstimmung. Dies ist im allgemeinen auch in anderen Gegenden der Fall, nur daß die Zahl der Abweichungen größer wird, je häufiger Nordlichterscheinungen in dem betreffenden Orte sind. Nahe parallel der Zone größter Häufigkeit besteht eine, in der keine Himmelsrichtung bevorzugt erscheint; man nennt sie die neutrale Zone. Noch weiter nördlich steht die Erscheinung überwiegend in Süd.

Die Krone jedoch tritt überall höchstens ganz wenige Grade vom magnetischen Zenit auf, wie man jenen Punkt des Himmelgewölbes nennt, auf den das Südende der Magnetnadel weist. Es hat also eine Höhe gleich der Inklination über dem Südhorizont und ein Azimut gleich der Deklination vom Südpunkt aus. Auf der Südhalbkugel der Erde tritt statt dessen

der Punkt auf, auf den der Nordpol der Nadel gerichtet ist. Es müssen also die Strahlen, die die Krone erzeugen, der Magnetnadel parallel austreten und durch Perspektive die Krone bilden.

Der Nordlichtdunst liegt auch bei uns oft außerhalb des magnetischen Meridians.

### § 34. Polarlichtperioden.

130. Polarlichter sind auch an ein und demselben Ort nicht zu allen Zeiten gleich häufig, vielmehr ist ihre Anzahl ganz deutlich mehreren Perioden unterworfen. Das gleiche gilt von ihrer Intensität, die auch hier wieder der Häufigkeit proportional ist, wie dies bei der Verbreitung über die Erde ebenfalls bemerkt wurde. Von vornherein ist zu erwarten, daß die Tageshelligkeit von großem Einflusse ist. Das Licht unserer Erscheinungen ist nicht stark genug, das Tageslicht zu überstrahlen. Hieraus ergibt sich schon eine Ursache für das Bestehen einer täglichen, wie einer jährlichen Variation der Nordlichthäufigkeit, die wir jedoch als eine indirekte Beeinflussung auffassen müssen, die mit dem Wesen des Nordlichtes nichts zu tun hat. Allein es ist als vollkommen gesichert anzusehen, daß der Wechsel von Tag und Nacht, von Sommer und Winter auch einen ursächlichen Einfluß äußert.

131. Die tägliche Variation der Nordlichthäufigkeit verläuft derart, daß fast überall abends von 8 bis 10 Uhr die meisten Nord- oder Südlichter auftreten, und da, wo die Polarnacht die Beobachtung auch zu unseren Tagesstunden gestattet, die wenigsten um 11 Uhr vormittags. Je nördlicher man sich be-

findet, desto später tritt das Maximum ein. Übrigens hat jede einzelne Form dieselbe Häufigkeitsschwankung. Auch die Südlichter sind diesem Verlaufe unterworfen. Es muß also die Tatsache, daß die Sonne nicht mehr strahlt, von Einfluß auf das Zustandekommen der Polarlichter sein. Lediglich die Blendung durch das Tageslicht kann unmöglich die größte Häufigkeit in die frühen Abendstunden verlegen, sondern würde das Maximum symmetrisch zu Sonnenauf- und -untergang zu stellen suchen, also auf Mitternacht.

132. Die jährliche Variation der Polarlichthäufigkeit besteht im Gegensatz zur täglichen aus einer Doppelwelle, die nicht nur ihre Extreme zur selben Zeit erreicht, wie die jährliche Variation des Erdmagnetismus und die gleiche der Störungen, sondern auch wie die hier genannten Verläufe für die ganze Erde dieselbe ist. In nördlichen und südlichen Breiten ist die größte Häufigkeit etwa im März, die geringste im Juni; ein zweites Maximum im Oktober, ein entsprechendes Minimum im Januar. In hohen Breiten wird das Oktobermaximum oft das größere.

133. Die elfjährige Periode der Polarlichter ist eine früh erkannte und ziemlich gut ausgeprägte, wenn auch nicht in der Deutlichkeit, wie beim Erdmagnetismus. Jedenfalls ist bei den Polarlichtern die elfjährige Periode und ihr Gang nicht so sicher zu erhalten, daß man eine andere irdische Erscheinung lediglich deshalb mit den Nordlichtern in ursächlichen Zusammenhang bringen kann, weil auch sie eine elfjährige Periode besitzt.

Es scheint, daß in unseren Gegenden und überhaupt in mittleren und niederen Breiten die Ver-

größerung der Nordlichthäufigkeit zu den Zeiten größter Sonnentätigkeit auf Kosten der Gegenden jenseits der Häufigkeitsgrenzen zu stande käme. So ergibt sich z. B. für grönländische Orte folgende Zusammenstellung:

|            |         |     |                                                                                   |                                    |     |
|------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----|
| Iviglut    | 1869—71 | 245 |  | tage bei der Sonnenfl.-Relativzahl | 324 |
| "          | 1877—79 | 425 | "                                                                                 | "                                  | 22  |
| Godthaab   | 1865—68 | 274 | "                                                                                 | "                                  | 48  |
| "          | 1869—72 | 138 | "                                                                                 | "                                  | 339 |
| "          | 1876—79 | 273 | "                                                                                 | "                                  | 23  |
| Jacobshavn | 1873—75 | 25  | "                                                                                 | "                                  | 84  |
| "          | 1877—79 | 78  | "                                                                                 | "                                  | 9   |

Paulsen erklärt diese überraschende Ausnahme, die übrigens auch für arktisch amerikanische Orte nachgewiesen wurde, wohl richtig damit, daß die Zone größter Häufigkeit sich in den Jahren hoher Sonnenfleckenzahl nach Süden verschiebt (vgl. 75, dieselbe Ausnahme bei der elfjährigen Periode der Störungen).

134. Neben einer noch nicht genügend gesicherten Periode von 26 Tagen (vgl. § 19) besteht eine andere Variation von fast derselben Länge, nämlich von 29 Tagen. Es ist die Mondperiode der Polarlichthäufigkeit. Allerdings ist sie im wesentlichen dadurch hervorgerufen, daß die Sichtbarkeit des Nordlichtes von der Mondhelligkeit abhängt. Aber auch nach Beseitigung dieses störenden Einflusses des Mondlichtes ergibt sich nach Ekholm und Arrhenius eine Wirkung unseres Trabanten, indem die Häufigkeit der Polarlichterscheinungen an ein und demselben Orte nördlicher Breite eine doppelt so große ist, wenn der Mond in der südlichen Wende steht, als in seiner nördlichen. Auf der Südhalbkugel der Erde ist dem umgekehrt.

### § 35. Die physischen Eigenschaften des Polarlichtes.

135. Was zunächst die Farbe des Nordlichtes anbetrifft, so herrscht ein gelbliches Weiß bei weitem vor, häufig ist jedoch auch ein grünlicher Ton zu beobachten. Die Strahlen nehmen gerne eine blaß bis intensiv rote Färbung an, während der Nordlichtdunst mit Vorliebe violett erscheint. Es sind im Grunde dieselben Farben, wie sie auch der Blitz zeigt.

136. Wäre das Polarlicht, wie man früher wohl dachte, irgendwie reflektiertes Sonnenlicht, so müßte es teilweise polarisiert sein. Dies ist nicht der Fall.

137. Die Intensität des Polarlichtes läßt sich durch Vergleich mit der Helligkeit des Mondes abschätzen. Danach soll sie selbst in den Gegenden größter Häufigkeit die Helligkeit der Beleuchtung durch den Vollmond nie erreichen, wenn sie prächtig entwickelt sind, etwa derjenigen bei erstem Viertel gleichen. Weyprecht gibt eine schöne, auch bei uns brauchbare Methode an, genauere Messungen zu erhalten, von der es recht zu wünschen wäre, daß sie häufiger angewendet werde. Danach läßt man jemand sich immer weiter entfernen und dabei ein bestimmtes Zeichen geben, bis man es gerade nicht mehr erkennen kann. Später, in mond hellen Nächten wiederholt man die Messung und wird dann bald einen bestimmten Mondstand finden, bei dem das Signal in derselben Entfernung aufhört, sichtbar zu sein. Aus diesem Mondstand — Angabe des Datums und der Zeit genügt — läßt sich die Nordlichthelligkeit einfach ermitteln.

138. Die geringe Helligkeit vieler Polarlichter hat es lange unmöglich gemacht, Photographien unserer

Naturerscheinung zu erhalten. Dies gelang 1892 zum ersten Male Brendel und Baschin auf einer Reise in Bossekop. Allerdings bedurften sie nicht nur hochempfindlicher Platten, sondern diese mußten noch für jene Strahlen besonders empfindlich gemacht werden, die dem Polarlicht eigentümlich sind. Es genügte dann schon eine Expositionsdauer von 7 Sekunden, ein Bild einer Draperie zu erhalten, aus dem alle Einzelheiten dieser Form mit genügender Deutlichkeit zu entnehmen waren.

139. Will man die Natur eines Lichtes untersuchen, so gibt es hierzu kein besseres Mittel als die Spektralanalyse.\*) Wir wissen, daß das Licht sich bei dem Durchgang durch ein Prisma in Farben zerlegt, so z. B. das Sonnenlicht in die bekannten Regenbogenfarben. Die Art nun, wie diese Zerlegung stattfindet, hängt davon ab, wie das Licht entsteht. Kommt es von einem glühenden festen Körper, so geht allmählich eine Farbe in die andere über, man spricht von einem „kontinuierlichen Spektrum“. Gase und glühende Metalldämpfe zeigen dagegen Spektren, die von nicht erleuchteten Stellen unterbrochen sind; man hat es hier mit „Linien- oder Bandenspektren“ zu tun. Die einzelnen scharf voneinander getrennten Linien stehen gegeneinander immer gleich angeordnet, wie oft wir auch Licht derselben Quelle untersuchen. Umgekehrt dürfen wir schließen, daß es derselbe Körper ist, der uns sein Licht zusendet, wenn wir dieselben Linien an denselben Stellen sehen. Nun hat jeder Körper andere Linien in seinem Spektrum,

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 91, Astrophysik, Einleitung.

als irgend ein anderer. Man kann daher selbst bei einem Licht, das verschiedenen glühenden Körpern entstammt, aus dem Spektrum ganz genau ermitteln, welche Körper beteiligt sind.

Das Nordlichtspektrum ist 1867 zum ersten Male beobachtet worden und zwar von Ångström. In der Folge ist es häufig untersucht worden, doch ist es erst neuerdings und zwar Paulsen gelungen, es durch die Photographie der scharfen Messung zugänglich zu machen.

Das Resultat ist folgendes: Das Nordlichtspektrum ist ein Linienspektrum, rührt demnach von einem glühenden Gase her; das Nordlicht kann also nicht, wie frühere Forscher vermeinten, reflektiertes Sonnenlicht sein, denn dann müßte es ein kontinuierliches Spektrum besitzen (vgl. 137). Die Linien gehören zwei Lichtquellen an, dem eigentlichen Nordlicht und der Nachthelligkeit. Die wahren Nordlichtlinien finden sich alle bis auf eine im Spektrum des Stickstoffes wieder. Mithin ist es der Stickstoff der Atmosphäre, der ins Leuchten geraten ist. Neuere Untersuchungen machen es wahrscheinlich, daß die von Ramsay entdeckten, dem Stickstoff ähnlichen Gase Argon, Neon und Xenon, deren Linien man noch nicht vom Stickstoffspektrum hat trennen können, ebenfalls am Zustandekommen des Nordlichtspektrums beteiligt sind. Vielleicht ist ihnen auch die eben erwähnte einzige, bei einem anderen Körper noch nicht gefundene Linie zuzuschreiben, die sogenannte grüne Nordlichtlinie. Sie hat die Wellenlänge  $557 \mu\mu$  und sieht gelbgrünlich aus.

140. Man darf füglich sagen, daß da, wo man diese Nordlichtlinie sieht, auch eine nordlichtähnliche

Erscheinung obwaltet. Dies ist z. B. der Fall bei dem Zodiakallicht, ferner, wie H. C. Vogel zeigte, auch beim Blitz, ja sogar beim Lichte der Sonnenkorona, obwohl hier auch reflektiertes Sonnenlicht mit in Betracht kommt. Bei dem Blitz darf es nicht wundernehmen, dieselben Linien zu sehen, wie beim Nordlicht, da hier große Massen Luft ins Glühen versetzt werden.

141. Nun hat sich aber, und das ist für uns höchst überraschend, die wir Nordlichter gerade nicht zu den häufigen Erscheinungen zu zählen geneigt sind, herausgestellt, daß an sehr vielen Abenden sich namentlich am nördlichen Himmel, aber auch in anderen Azimuten die Nordlichtlinie in solcher Deutlichkeit zeigt, daß man mit einem lichtstarken Instrumente sogar die verschiedene Intensität ermitteln konnte, mit der sie sich über das Himmelsgewölbe verteilt. Wiechert, dem diese Entdeckung gelang, durfte mit Recht hieraus schließen, daß Nordlichter in unseren Breiten häufiger sind, als man vermutete, wenn sie auch seltener direkt augenfällig werden. Während solcher Abende zeigt sich stets eine milchige allgemeine Himmelshelligkeit. Ähnliches hatte Wiykander gefunden, indem er während eines Nordlichtes auch in den Himmelsteilen die Nordlichtlinie auffand, wo ein Polarlicht selbst nicht stand. Eine Ausnahme bildete nur das dunkle Segment, ein für die Natur dieser Erscheinung sehr wichtiger Umstand. Lemström fand die Nordlichtlinie in polaren Gegenden selbst, wenn er am Tage das Spektroskop auf irgend eine helle Wand richtete, die oft ganz nahe war, so daß jedenfalls zwischen ihm und der Wand ein Nordlichtvorgang sich abspielen mußte.

### § 36. Künstliche Nordlichterscheinungen.

142. Man hat versucht, dem Wesen der Nordlichter durch den Versuch näher zu kommen, und hierin einen Erfolg erreicht, der um so befriedigender ist, als die Verwirklichung und Nachahmung von Naturerscheinungen im kleinen sonst nur in ganz bescheidenem Maße erreicht wurde.

143. Zuerst gelang es Lemström anfangs der siebziger Jahre des verflossenen Jahrhunderts, künstlich nordlichtähnliche Erscheinungen hervorzurufen. Später, im Polarjahre 1882/83 wiederholte er seine Versuche in größerem Umfange in Kultala und Sodankylä, zwei Orten des nördlichen Finnlands. Die Apparate, deren er sich bediente, sind dieselben, die wir oben unter dem Abschnitte 115 haben kennen gelernt, seine Spitzenapparate, mit denen er auch die Erd-Luftströme maß.

Von dem Tage an, wo die Einrichtung fertig gestellt war, beobachtete man abends und nachts ein gelblichweißes Licht, das den Gipfel des Berges umlagerte, auf dem der Spitzenapparat aufgestellt war. Diese Flammen konnte Lemström nicht nur willkürlich vergrößern, sondern auch selbständig erzeugen, wenn er den Strom einer Holzschen Influenzmaschine in die Spitzenapparate hineinsandte. Im nächsten Jahre gelang ihm sogar, einen Nordlichtstrahl von 120 m Länge über seinem Spitzenapparat zu beobachten.

Mit diesen großartigen Versuchen war es nunmehr zweifellos klargelegt, daß das Polarlicht eine Erscheinung elektrischer Natur ist. Der Umstand, daß die Entladung durch Spitzenwirkung zu stande

gekommen, führte sofort auf die Vermutung, es hänge mit jenen elektrischen Ausgleichvorgängen zusammen, die wir unter dem Namen „Elmsfeuer“ zusammenfassen. Dies ist auch richtig, wenn man nicht verlangt, daß nun alle Nordlichterscheinungen dieser Natur sind, was nicht der Fall ist. Jedenfalls sind aber jene Lichter, die an der Erdoberfläche kleben, also namentlich an Bergen, durch Ausströmen der Erdlektrizität durch diese natürlichen Spitzen zu erklären sie stehen also, obwohl sie die Nordlichtlinie zeigen, dem Blitze näher als dem Polarlicht.

Man hat die Versuche auch in anderen Gegenden wiederholt; so z. B. auf dem Mont Blanc, hier aber nur ein, allerdings sehr intensives Elmsfeuer und Funkenentladungen von solcher Heftigkeit erreicht, daß die Beobachter zum Teil schwer verletzt wurden.

144. Mit der Zeit lernte man eine andere Art elektrischer Leuchterscheinungen kennen, die sich bald mit dem Nordlicht näher verwandt ergaben: die leuchtenden Entladungen innerhalb sogenannter Crookescher, Hittorfscher oder auch Geißlerscher Röhren. Es sind dies Glasröhren, die mit Luft oder einem anderen Gase gefüllt sind, doch sind diese Gase durch starkes Auspumpen nur in hoher Verdünnung vorhanden. An irgend zwei Stellen des Innern befinden sich Metallbleche, die Elektroden, die mit außen durch eingeschmolzene Drähte in elektrisch leitender Verbindung stehen. Verbindet man die Bleche mit den beiden Polen einer Elektrizitätsquelle hoher Spannung, so findet zwischen ihnen eine Entladung statt: das Gas leuchtet farbig auf. Das Spektrum dieses Lichtes ist ein Linienspektrum und hängt von dem gerade

gewählten Gase ab. Auf solche Art wird auch das oben mit dem Nordlichtspektrum verglichene Stickstoffspektrum untersucht.

In einer derartigen Röhre treten unter anderen Strahlen (z. B. Röntgenstrahlen) „Kathodenstrahlen“ aus, so genannt, da sie von der Kathode ausgehen, d. i. von jenem Bleche, das mit dem negativem Pole verbunden ist.

Der heutige Stand der Wissenschaft sieht in diesen Kathodenstrahlen an sich unsichtbare Strahlen, die jedoch die Fähigkeit besitzen, Gase, auf die sie treffen, zum Leuchten zu bringen. Jedes so getroffene Teilchen des Gases kann nun selbst wieder Kathodenstrahlen aussenden, die „sekundären Kathodenstrahlen“. Bei dem Umsatz in Leuchtkraft geht die Energie der Strahlen verloren; deshalb ist es ihnen nicht möglich, in der gewöhnlichen Luft sich fortzupflanzen, da sie hier zu schnell verbraucht sind. Eine weitere Eigenschaft von ihnen ist, daß sie von einem magnetischen Felde aus ihrer sonst geraden Bahn abgelenkt werden, und zwar hat ein Kathodenstrahl, wenn er senkrecht gegen die Kraftlinien in das magnetische Feld eintritt, das Bestreben, sich zum Ring um ihn herum zu biegen; tritt er in der Richtung der Kraft ein, so verläuft er dauernd in der Kraftlinie selbst. Bei einer Neigung zwischen diesen beiden durchläuft er eine Schraubenlinie. Hieraus folgt, daß, wenn ein Magnetfeld schon vorhanden ist und ein Kathodenstrahl erst entsteht, er in der Richtung der Kraftlinie verläuft, die von ihm verursachte Leuchterscheinung ist ruhig; es tritt aber sofort lebhafteste Bewegung auf, sobald etwa das Magnetfeld sich ändert, denn nun stehen die Kathodenstrahlen schief gegen das Feld. Man

denkt sich die Kathodenstrahlen aus kleinen elektrisierten Teilchen bestehend, die mit großer Geschwindigkeit dahinfliegen. Treffen sie auf ihrem Wege auf Gase, so versetzen sie dieselben in einen Zustand, der sie befähigt, die Elektrizität zu leiten, wozu sie vorher nicht im stande waren.

145. Von der Vermutung geleitet, die Nordlichterscheinung könnte als eine Kathodenstrahlerscheinung erklärt werden, haben Ebert und Birkeland eine Reihe äußerst interessanter Versuche gemacht, die jene Vermutung nach jeder Richtung hin bestätigt haben.

### § 37. Polarlichttheorien.

146. Von der Zeit an, wo wir durch Entdeckung der Elektrisiermaschine einen tieferen Einblick in das Wesen elektrischer Entladungen zu gewinnen anfangen, stieg auch unsere Erkenntnis vom Wesen der Polarlichterscheinungen. Es ist ja bekannt, daß dieselben Entdeckungen Franklin und seine Nachfolger über das Wesen des Gewitters aufklärten, und es lag nahe, die Nordlichterscheinungen ebenfalls als Entladungen der Lufterlektrizität aufzufassen. Es entstanden auf diesem Boden eine ganze Anzahl von Theorien, von denen jene von de la Rive die größte Bedeutung erlangt hat. Nach ihm verpflanzen die Ströme der allgemeinen Luftzirkulation der Erde die Lufterlektrizität vom Äquator nach den Polen, wo dann die Glimmentladung in Form der Nordlichter stattfindet. Bei uns findet diese Entladung lieber in der Form von Blitzen statt, so daß Blitz und Nordlicht in ihrer Häufigkeit sich umgekehrt zueinander verhalten. Je mehr eine Gegend durch Nordlichter ausgezeichnet ist, desto seltener sind in der That in ihnen Gewitter.

Bezold hatte nachgewiesen, daß die Gewitterhäufigkeit um so mehr wächst, je mehr die Zahl der Sonnenflecken abnimmt. Dadurch, daß dies bei der Anzahl der Nordlichter nun gerade umgekehrt ist, erklärt sich, warum bei uns in gewitterarmen Jahren die Nordlichtentladung häufiger ist und umgekehrt. Beide Erscheinungen vertreten sich auch hier wechselseitig.

Alle älteren Theorien besitzen einen wahren Kern, vermögen aber nicht die ganze Nordlichterscheinung zu erklären, zum Teil stehen sie auch mit den Resultaten späterer Untersuchungen im Widerspruch. Wir müssen von einer Nordlichttheorie aber erwarten, daß sie nicht nur einige, sondern alle Eigenheiten dieser Naturerscheinung erklärt. Was den älteren Theorien namentlich abging, das war eine Deutung der verschiedenen merkwürdigen Formen, in denen sich uns die Erscheinung bietet, und die Erklärung, warum sich das Ganze in uns so ausnehmend groß erscheinenden Höhen abspielt.

147. Hier war es nun unsere wachsende Erkenntnis vom Wesen der Elektrizität im allgemeinen und jener Vorgänge im besonderen, die, wie die Kathodenstrahlung, sich als elektrische Strahlungen kennzeichnen, was nicht nur jede Eigenschaft der Polarlichter bis ins kleinste erklärte, sondern auch die Erscheinungen der Erdelektrizität und des Erdmagnetismus. Diese Theorie des Nordlichts ist nicht auf einen zurückzuführen, doch gebührt das Verdienst, einen umfassenden Ausbau der Theorie zuerst geliefert zu haben, Adam Paulsen. Inzwischen sind so viele neue Forschungsergebnisse hinzugewonnen worden, daß wir heute im Besitze einer voll befriedigenden Theorie sind.

148. Indem wir uns der oben (vgl. 144) aufgezählten Eigenschaften der Kathodenstrahlen erinnern, erscheint uns das Polarlicht als ein durch Kathodenstrahlen erzeugtes Leuchten der Luft. Als Quelle, woher diese Strahlen stammen, sehen wir die Sonne an. Von ihr gehen fortgesetzt jene kleinen elektrisierten Teilchen aus, welche das Wesen der Kathodenstrahlen ausmachen. Nähern sie sich der magnetischen Erde, so treten die Erscheinungen ein, die Birkelands Versuch (vgl. 145) im kleinen ergab: um die Pole bilden sich, jedoch nur in den höchsten stark verdünnten Luftschichten, Bänder aus Kathodenstrahlen, die ihrerseits sekundäre Kathodenstrahlen aussenden; diese bringen, sobald sie in dichtere Luft kommen, in ihr jene Leuchterscheinungen zu stande, die wir als die Hauptbestandteile der Polarlichter kennen gelernt haben: die Bogen, Fäden, Bänder und Strahlen. Zeigen diese Formen eine Streifung, so ist sie stets parallel den magnetischen Kraftlinien um die Erdpole, also hier fast senkrecht gegen die Erdoberfläche. Infolgedessen müssen allerseits den Kraftlinien entlang aufsteigende Strahlen durch die Perspektive sich im magnetischen Zenit zu schneiden scheinen, d. h. es muß das Bild einer Nordlichtkrone entstehen. Dergleichen müssen auch die übrigen hohen Nordlichtformen perspektivisch beeinflußt sein; sie lassen sich sämtlich hieraus und aus jenen Lichtgestalten vollkommen erklären, die wir in den Crookesschen Röhren als gewohnte Erscheinungen sehen.

Auch die Beweglichkeit des Nordlichts ist eine der künstlichen Leuchterscheinung stets zukommende Eigenschaft. Da es sich in den großen Höhen abspielt, die wir oben kennen gelernt haben, geht es in

Regionen vor sich, wo die Luft überwiegend aus Stickstoff besteht, und wir begreifen, daß sein Spektrum die Stickstofflinien enthält.

Zeigt schon der Birkelandsche Versuch, wie die tägliche Periode der Nordlichthäufigkeit entstehen muß, so wird dies uns noch verständlicher, wenn, wie zur Nacht- und vornehmlich zur Abendzeit, der Winkel am kleinsten ist, den die Richtung der von der Sonne kommenden Kathodenstrahlen mit den magnetischen Kraftlinien der Erde einschließt. Wir sehen ferner, daß nicht etwa meteorologische Einflüsse eine jährliche Variation hervorrufen können, denn solche äußern sich nur in den untersten Schichten. Nur die Schiefe der magnetischen Achse (vgl. 58) bedingt und zwar dadurch die jährliche Periode, daß die Bänder bei den Polen sich im Laufe des Jahres verlagern und zwar beide im selben Sinne, wie dies denn auch die Gestalt des jährlichen Verlaufes erfordert.

149. Neben diesen reinen Kathodenstrahlennordlichtern bestehen jene niederen Formen der Flammen und des Nordlichtdunstes; sie sind Glimmentladungen gleich dem Elmsfeuer. Warum entstehen sie denn aber nicht in unseren Gegenden?

Die Ursache ist die, daß bei uns keine solche intensive Spitzenwirkung der Gebirge zu stande kommen kann, als in den polaren Gegenden. Bei uns ist die Luft ein zu schlechter Leiter, während hier die Eigenschaft der Kathodenstrahlen, die durchstrahlte Luft leitend zu machen, einen starken aufsteigenden elektrischen Strom erzeugen muß.

## § 38. Polarlicht und Erdmagnetismus.

150. Um das Wesen des Polarlichtes weiter zu verfolgen, müssen wir uns zunächst den Beziehungen zuwenden, die zwischen ihm und dem Erdmagnetismus bestehen. Wir übergehen den permanenten Magnetismus, dessen Einfluß auf Gestalt und Anordnung der Nordlichter wir schon in dem eben Vorangegangenen kennen gelernt haben, und wenden uns sogleich den Variationen zu.

Bei uns ist der normale Gang des Erdmagnetismus stets gestört, sobald eine Nordlichterscheinung für uns sichtbar wird. In polaren Gegenden beobachtete man jedoch sehr viele Nord- und Südlichter, wobei die Nadel durchaus nicht beunruhigt zu sein schien. Eine nähere Betrachtung zeigte aber, daß nur dann keine magnetische Störung eintrat, wenn ein ruhiges Polarlicht beobachtet wurde, d. h. ein solches ohne Bewegen der einzelnen Nordlichtformen und ohne jene Lichtwogen, die sich häufig durch sie hindurchziehen.

Wir erklären auch dies aus einer Eigenschaft der Kathodenstrahlen, nämlich mit dem Bestreben, längs der magnetischen Kraftlinien zu fließen. Damit dies eintrete, ist nur nötig, daß die Kathodenstrahlen in der Richtung der Kraftlinien in das Erdfeld eintreten; sie müssen dann notgedrungen ein ruhig leuchtendes Nordlicht erzeugen. Ändert sich das magnetische Feld der Erde plötzlich, d. h. bricht eine Störung aus, so ändert sich die Lage und Richtung der Kraftlinien (vgl. die Erklärung der Nachstörung 74), während die Kathodenstrahlen ihrer bekannten großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit wegen dieser Änderung

nicht folgen und nun jene spiralsichen, band- und ringförmigen Formen annehmen, die wir gleicherweise im Laboratorium wie in der Natur vor sich gehen sehen. Es ist also der Erdmagnetismus oder vielmehr sind es seine Störungen, die das Polarlicht beeinflussen, und nicht etwa umgekehrt. Dennoch ist eine Rückwirkung des Polarlichtes seinerseits auf den Erdmagnetismus trotzdem vorhanden. So beobachtete Vedel, daß die Deklinationsnadel, solange eine Draperie im Süden stand, nach Westen von der normalen Lage abwich; zur Zeit, als sie den Zenit durchschritt, schwang der Magnet um seine alte Ruhelage und wich nach Ost ab, sobald die Draperie nach Norden vorrückte. Hier ist es nichts anderes als der durch die Draperie fließende Vertikalstrom, dessen horizontales magnetisches Feld vor seinem Vorübergang die Nadel in einem und nachher im anderen Sinne ablenken mußte. Diese Nahwirkungen des einzelnen Nordlichtes sind aber gegenüber den die ganze Erde umfassenden magnetischen Störungen als örtliche Einflüsse zu betrachten. Sie beeinflussen wohl, und zwar in erheblichem Maße die magnetischen Variationen an Ort und Stelle, nicht aber die auf der übrigen Erde in einem irgend wahrnehmbaren Betrage.

### § 39. Polarlicht und meteorologische Erscheinungen.

151. Es ist begreiflich, daß man früher nach Beziehungen zwischen Nordlicht und meteorologischen Elementen gesucht hat, und noch begreiflicher, daß man deren keine gefunden hat. In den Höhen, in denen sich das Polarlicht abspielt, hört der Begriff „atmosphärische Luft“ und „Meteorologie“ auf. Die nie-

deren Formen aber kommen bei uns nicht vor, und wo sie vorkommen, gab es in jenen Zeiten keine meteorologischen Beobachtungen. Nach den heute nunmehr auch aus jenen Gegenden reichlich vorliegenden Messungen scheint zwar die Luftfeuchtigkeit nicht ganz ohne Einfluß auf das Zustandekommen der Polarlichter zu sein, Beziehungen mit anderen Elementen ergaben sich aber nicht.

152. Um so inniger ist die Verbindung zwischen Nordlicht und Wolkenbildung. Wir wissen aus zahlreichen bestätigenden Versuchen, daß elektrisierte Teilchen eines Gases so gut Kondensation des Wasserdampfes hervorrufen, als in der Luft schwebende Staubteilchen.\*) Nun elektrisieren die Kathodenstrahlen die Luft, müssen also gelegentlich auch zu Wolkenbildung Veranlassung geben.

In Polargegenden will man eine solche Beziehung häufig beobachtet haben. Das dunkle Segment wird öfters als eine nebelartige Kondensation geschildert. Namentlich aber wird auf diese Art die Entstehung jener höchsten Wolkenarten, der Cirrus erklärt.

Der Cirrus zeigt oft eine auffallende Erscheinung, indem er zuzeiten täuschend die Gestalt eines Nordlichtbogens mit Strahlen nachahmt. Auch hat sich oft nach Eintritt der Morgendämmerung an jener Stelle in derselben Form ein Cirrus gezeigt, wo vorher ein Nordlicht stand.

153. Da die hier erwähnten Wolkenformen die Erzeuger von Sonnen- und Mondhöfen und -ringen sind, so darf es nicht wundernehmen, wenn man in

---

\*) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, 2. Aufl., Meteorologie, § 38.

den Häufigkeitsgesetzen dieser optischen Erscheinungen und denen der Nordlichter Ähnlichkeiten gefunden hat; doch können natürlich solche optischen Bildungen keinen rückwirkenden Einfluß auf die Nordlichter besitzen.

## Sach- und Namenregister.

- Ablenkungsbeobachtungen 15.  
Absolute Messung 17.  
Achse, magnetische, der Erde 36. 42.  
44. 55. 128.  
Adams 6.  
Agonen 26.  
Allgemeine Nordlichter 111.  
Alter des Mondes 85. 87.  
Amplitude 59. 75. 87 ff.  
Analyse, harmonische 63. 68. 79.  
Angot 7.  
Ångström 120.  
Anomalie 41. 45.  
Äquator, dynamischer 30.  
" magnetischer 28.  
Arendt 90.  
Arrhenius 81. 117.  
Äußere Kräfte 37. 49. 63.  
Azimut des Polarlichtes 114.
- Bachmetjew 7. 95. 98. 104.  
Balfour Stewart 72.  
Balloninstrumente 50.  
Baschin 119.  
Basislinie 21. 24.  
Bauer, L. A. 41.  
Bemmelen, van 6.  
Bezold, W. v. 5. 40. 41. 62. 67. 126.  
Biflar, absolutes 17.  
" magnetometer 19.  
" theodolit 17.  
Bigelow 81.  
Biot 49.  
Birkeland 7. 81. 125. 128.  
Blitz 90. 125.  
Blitzspektrum 121.  
Boller 7. 110.  
Brendel 119.  
Broun 85. 88.
- Canton 82.  
Carlheim-Gyllenskiöld 5. 6. 54.  
Carrington 79.  
Castro 12.  
Celsius 23.  
Chambers 88.  
Cirruswolken 131.  
Colladon 101.  
Corona 121.
- Deklination, Begriff 11.  
Draperie 109. 119. 130.
- Ebert 125.  
Eigenlicht der Erde 111.  
Einzelstörung 53.  
Ekholm 117.  
Elektrische Wirkung der Sonne 80.  
102.  
Elementarwellen 72. 102.  
Elemente der Theorie 35.  
Ellis 75.  
Elmsfeuer 123.  
Erdbeben 90.  
Erdinduktor 14.  
Erdluftströme 38 ff. 94. 100. 128.  
130.  
Erman 6.  
Eruptionen der Sonne 102.  
Eschenhagen 21. 72.  
Euler 31.

- Faraday 82.  
 Farbe des Polarlichtes 118.  
 Feinmagnetometer 21. 72. 100.  
 Figeo 7.  
 Flammengase 80.  
 Fouriersche Reihen 63.  
 Franklin 101. 125.  
 Fritsche 6. 64.  
 Fritz 110.  
 $\gamma$ , Begriff 50.  
 Gauß 5. 6. 15. 18. 23. 24. 31 ff. 50.  
     55. 62.  
 Gay-Lussac 49.  
 Gebirgsmagnetismus 50. 103.  
 Gellibrand 53.  
 Geologie tiefer Schichten 47. 48.  
 Gesteinsmagnetismus 48.  
 Gewitter, magnetische 69.  
 Gewitterhäufigkeit 126.  
 Gezeitenwelle 88.  
 Giese 100.  
 Gilbert 31.  
 Gißler 113.  
 Graham 23. 56.  
 Gray 6.  
 Halley 31.  
 Hansteen 31.  
 Hartmann 9. 12. 13.  
 Heller 85.  
 Hellmann 5.  
 Hevelius 23.  
 Heydweiller 18.  
 Himmelshelligkeit 121.  
 Höhe des Polarlichtes 112. 126.  
 Horizontalintensität, Begriff 12.  
     " isodynamen 28.  
 Humboldt 23.  
 Inklination, Begriff 11.  
 Inklinatorium 13.  
 Innere Kräfte 37. 63.  
 Intensität des Polarlichtes 115. 118.  
 Isanomalen 41.  
 Isodynamen 28.  
 Isogonen 26.  
 Isoklinen 28.  
 Kathodenstrahlen 124 ff. 127.  
 Kelvin 93.  
 Keppler 77.  
 Klein, F. 6.  
 Klein, H. J. 7.  
 Klima 83. 85.  
 Kohlrausch 17. 18.  
 Kolumbus 12.  
 Kreil 85.  
 Kugelfunktionen 35. 55. 63. 68. 103.  
 Kurvenintegral 39. 63.  
 Lamont 6. 17. 74. 101.  
 Landesaufnahmen, magnetische 25.  
 Längendifferenz zweier Orte aus  
     Störungen 69.  
 Lemström 101. 122.  
 Leyst 88.  
 Liznar 7. 40. 50. 81.  
 Lloyd 20. 85.  
 Lokale Polarlichter 111.  
 Lokalvariometer 18.  
 Lotabweichung 47.  
 Lüdeling 7.  
 Luftfeuchtigkeit 131.  
 Magnetograph 21.  
 Magnetometer 18.  
 Mairan 80. 112.  
 Marchand 80.  
 Mascart 5. 9.  
 Maxwell 6.  
 Mercator 31.  
 Meridian, magnetischer 11.  
 Moment, magnetisches, der Erde  
     36. 42. 55.  
 Monatliche Variation 87. 117.  
 Mondhof 131.  
 Mondperiode des Polarlichtes 117.  
 Mondring 131.  
 Nachstörung 70. 73. 129.  
 Neumann 6.  
 Neumayer 5. 6. 7. 24. 37. 85. 87.  
 Neutrale Zone 114.  
 Nordlicht, Begriff 106.  
 Nordlichtbänder 108. 114. 127.

- Nordlichtbogen 106. 113. 127.  
 „ dunst 108. 115. 128.  
 „ fäden 107. 127.  
 „ häufigkeit 115.  
 „ krone 109.  
 „ linie 120.  
 „ pol 110.  
 „ spektrum 120.  
 „ strahlen 107. 113. 127.  
 Nordpol, Begriff 26.  
 Norman 13.  
 Ohmsches Gesetz 97.  
 Östliche Deklination 26.  
 Palmieri 99.  
 Parallaxenmethode 112.  
 Passatwinde 66.  
 Paulsen 74. 117. 120. 126.  
 Perioden 51. 53. 55. 81. 85. 87. 115.  
 Petersen 37.  
 Photographie des Polarlichtes 118.  
 Poggenдорff 18.  
 Polarisation des Polarlichtes 118.  
 Polarjahr, internationales 24.  
 Pole 26. 28. 36. 55. 65. 110.  
 Potential des Erdmagnetismus 33.  
 37. 41. 49. 63.  
 Potential, elektrisches, der Erde 98.  
 100 ff.  
 Potential, magnetisches, des Erd-  
 stroms 103.  
 Prony 18.  
 Quellen des Erdstroms 93.  
 Quetelet 101.  
 Quintus Icilius 6.  
 Ramsay 120.  
 Regen und Erdstrom 104.  
 Reisebeobachtungen 17.  
 Relative Messungen 17.  
 Relativzahl 75. 117.  
 Richtung des Erdstroms 98.  
 Riemann 6.  
 Rive, de la 93. 125.  
 Roß 24.  
 Roßbreiten 66. 68.  
 Sabine 52. 73. 74. 85.  
 Säkulare Variation 23.  
 Sauerstoff 82.  
 Schering, E. 5.  
 Schering, K. 5. 14.  
 Schmidt, Ad. 6. 37 ff. 72. 77.  
 Schuster 5. 6. 62. 63. 81.  
 Schwabe 74.  
 Segment, dunkeles 107. 113. 114.  
 131.  
 Sellmayer 89.  
 Simultanbeobachtung 23.  
 Solarer Anteil 85.  
 Sonne, Magnetisierung 78. 81.  
 Sonnenfackeln 80. 102.  
 „ finsternis 91.  
 „ flecken 74. 79. 126.  
 „ hof 131.  
 „ ring 131.  
 Spektralanalyse 119.  
 Spiegelablesung 18.  
 Spitzenwirkung der Gebirge 99. 123.  
 128.  
 Stickstoffspektrum 120. 128.  
 Stok, van der 85. 88.  
 Störung, Begriff 52.  
 Störungsausbruch 69. 79. 126.  
 „ gebiet 45.  
 „ häufigkeit 71. 75.  
 „ vektor 48.  
 Stromspannung 98.  
 „ stärke 96.  
 „ wirbel 65. 72.  
 Südlicht, Begriff 106.  
 Tachard 56.  
 Tageshelligkeit 115.  
 Terrestrische Kurven 49.  
 Terrestrischer Anteil 85.  
 Theodolit, magnetisch. 13.  
 Totalintensität, Begriff 11.  
 Uniflar 19.  
 Variation, jährliche 56 ff. 62 ff. 78.  
 82.  
 Variation, jährliche, d. Polarlichtes  
 115. 123.

- Variation, jährliche, der Störung 70.  
 Variation, säkulare 53 ff. 61. 68.  
 Variation, tägliche 56 ff. 62 ff. 78. 82. 89. 103.  
 Variation, tägliche, des Erdstroms 97.  
 Variation, tägliche, des Polarlichtes 115. 128.  
 Variation, tägliche, der Störung 70.  
 Variometer 18.  
 Vedel 130.  
 Vektorendiagramm 67. 71.  
 Verein, magnetischer 23.  
 Vertikalintensität, Begriff 12.  
 „ variometer 20.  
 Vesuv, Erdstrom am 99.  
 Vogel, H. C. 121.
- Wage, magnetische 20.  
 Wahre isomagnetische Linien 49.  
 Weber, Wilh. 14.  
 Weinstein 7. 103.  
 Weyprecht 106. 118.  
 Wiechert 121.  
 Wijkander 121.  
 Wild 14. 17. 23. 24. 53. 98.  
 Wind 84.  
 Wolf 75.  
 Wolken 121.
- X-Komponente, Begriff 12.  
 Y-Komponente, Begriff 12.
- Zenit, magnetischer 114. 127.  
 Zentralmeridian 80.  
 Zirkulation, allgemeine 67. 84. 125.  
 Zodiakallicht 121.  
 Zone, neutrale 114.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
 KRAKÓW

S. 61

# Sammlung Köschen

In elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Köschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Pflanzenreich, Das.** Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. F. Reinecke in Breslau und Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Fig. Nr. 122.
- Pflanzenwelt, Die, der Gewässer** von Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 158.
- Philosophie, Einführung in die.** Psychologie u. Logik zur Einführung in die Philosophie v. Dr. Th. Eschenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Photographie.** Von Prof. S. Reßler, Fachlehrer an der k. k. Graph. Lehr- u. Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Taf. und 52 Abbild. Nr. 94.
- Physik, Theoretische, I. Teil: Mechanik und Akustik.** Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.
- Physikalische Formelsammlung** v. G. Mahler, Prof. am Gymnas. in Ulm. Nr. 136.
- Plastik, Die, des Abendlandes** von Dr. Hans Stegmann, Konservator am Germ. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Taf. Nr. 116.
- Poetik, Deutsche,** von Dr. Karl Borinski, Dozent an der Univers. München. Nr. 40.
- Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie** v. Dr. Th. Eschenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Psychophysik, Grundriß der,** von Dr. G. F. Lipps in Leipzig. Mit 3 Figuren. Nr. 98.
- Rechnen, Kaufmännisches,** von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentl. Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. Nr. 139. 140.
- Redelehre, Deutsche,** v. Hans Probst, Gymnasiallehrer in München. Mit 1 Tafel. Nr. 61.
- Religionsgeschichte, Indische,** von Professor Dr. Edmund Hardy in Würzburg. Nr. 83.
- — siehe auch: Buddha.
- Russisch-Deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Universität Prag. Nr. 68.
- Russisches Lesebuch mit Glossar** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 67.
- — siehe auch: Grammatik.
- Sachs, Hans, und Johann Fischart** nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Schmaroger und Schmarogertum in d. Tierwelt.** Erste Einführung in die tierische Schmarogerkunde von Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. an der Universität Gießen. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.
- Schulpraxis. Methodik der Volksschule** von Dr. R. Seyfert, Schuldirektor in Olmitz i. B. Nr. 50.
- Simplicius Simplicissimus** von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeben von Professor Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.
- Sociologie** von Prof. Dr. Thomas Alchelis in Bremen. Nr. 101.
- Sprachdenkmäler, Gotische,** mit Grammatik, Übersetzung u. Erläuterungen von Dr. Hermann Janßen in Breslau. Nr. 79.
- Sprachwissenschaft, Indogermanische,** von Dr. R. Meringer, Prof. an der Universität Graz. Mit 1 Tafel. Nr. 59.
- **Romanische,** v. Dr. Adolf Zauner, k. k. Realschulprofessor in Wien. Nr. 128.
- Stammeskunde, Deutsche,** von Dr. Rudolf Much, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 2 Karten und 2 Tafeln. Nr. 126.

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Stenographie.** Lehrbuch d. Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einigungs-system Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Leseftücken und einem Anhang von Dr. Amsel, Oberlehrer d. Kadettenhauses in Dranienstein. Nr. 86.
- Stereometrie** von Dr. R. Glaser in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 97.
- Stilkunde** von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand in Lahr. Mit 12 Vollbildern und 179 Textillustrationen. Nr. 80.
- Technologie, Allgemeine chemische,** von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.
- Telegraphie, Die elektrische,** von Dr. Ludwig Kellstab. Mit 19 Fig. Nr. 172.
- Tierbiologie I: Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur** von Dr. Heinrich Sinroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.
- **II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur v. Dr. Heinrich Sinroth, Professor an der Universität Leipzig.** Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Tierkunde** von Dr. Franz v. Wagner, Prof. an der Universität Gießen. Mit 78 Abbild. Nr. 60.
- Trigonometrie, Ebene u. sphärische,** von Dr. Gerh. Hessenberg in Charlottenburg. Mit 69 ein- und zweifarbigen Figuren. Nr. 99.
- Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands in der Gegenwart** v. Dr. Paul Stözner, Gymnasialoberlehrer in Zwickau. Nr. 130.
- Urgeschichte der Menschheit** v. Dr. Moritz Hoernes, Professor an der Universität u. Custosadjunkt am k. k. naturhist. Hofmuseum in Wien. Mit 48 Abbild. Nr. 42.
- Völkerkunde** v. Dr. Michael Haberlandt, k. k. Custos des ethnograph. Sammlung des naturhist. Hofmuseums und Privatdozent an der Universität Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.
- Volkslied, Das deutsche,** ausgewählt und erläutert von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.
- Volkswirtschaftslehre** von Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 133.
- Waltharilied, Das,** im Versmaße der Urschrift überetzt u. erläutert von Professor Dr. H. Althof, Oberlehrer am Realgymnasium in Weimar. Nr. 46.
- Walther von der Vogelweide** mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch v. Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.
- Wärme. Theoret. Physik. II. Teil: Licht und Wärme.** Von Dr. Gustav Jäger, Professor an d. Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- Wechselkunde** von Dr. Georg Junk in Mannheim. Mit vielen Formularen. Nr. 103.
- Wolfram von Eschenbach.** Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. A. Marold, Professor am Königl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. P. Nr. 22.
- Wörterbuch, Deutsches,** von Dr. Ferdinand Dettler, Professor an der Universität Prag. Nr. 64.
- Württemberg.** Landeskunde des Königreichs Württemberg v. Dr. Kurt Hassert, Prof. d. Geographie a. d. Handelshochschule i. Köln. Mit 16 Vollbildern u. 1 Karte. Nr. 157.
- Zeichenschule** von Prof. A. Kimmich in Ulm. Mit 17 Taf. in Ton-, Farben- und Golddruck und 135 Voll- und Textbildern. Nr. 39.
- Zeichnen, Geometrisches,** v. H. Becker, Architekt und Lehrer an der Bauwerkerschule in Magdeburg, neu bearbeit. v. Prof. J. Wunderlinn, dipl. u. staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. u. 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

# Sammlung Schubert.

Sammlung mathematischer Lehrbücher,

die, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhend, den Bedürfnissen des Praktikers Rechnung tragen und zugleich durch eine leicht fassliche Darstellung des Stoffs auch für den Nichtfachmann verständlich sind.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung in Leipzig.

Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände:

- 1 **Elementare Arithmetik und Algebra** von Prof. Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 2.80.
- 2 **Elementare Planimetrie** von Prof. W. Pflieger in Münster i. E. M. 4.80.
- 3 **Ebene und sphärische Trigonometrie** von Dr. F. Bohnert in Hamburg M. 2.—.
- 4 **Elementare Stereometrie** von Dr. F. Bohnert in Hamburg. M. 2.40.
- 5 **Niedere Analysis I. Teil: Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kettenbrüche und diophantische Gleichungen** von Professor Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 3.60.
- 6 **Algebra mit Einschluss der elementaren Zahlentheorie** von Dr. Otto Pund in Altona. M. 4.40.
- 7 **Ebene Geometrie der Lage** v. Prof. Dr. Rud. Böger i. Hamburg. M. 5.—.
- 8 **Analytische Geometrie der Ebene** von Prof. Dr. Max Simon in Strassburg. M. 6.—.
- 9 **Analyt. Geometrie d. Raumes I. Teil: Gerade, Ebene, Kugel** von Professor Dr. Max Simon in Strassburg. M. 4.—.
- 10 **Differentialrechnung** v. Prof. Dr. Frz. Meyer in Königsberg. M. 9.—.
- 12 **Elemente der darstellenden Geometrie** v. Dr. John Schröder in Hamburg. M. 5.—.
- 13 **Differentialgleichungen** von Prof. Dr. L. Schlesinger in Klausenburg. M. 8.—.
- 14 **Praxis der Gleichungen** von Professor C. Runge in Hannover. M. 5.20.
- 19 **Wahrscheinlichkeits- u. Ausgleichungs-Rechnung** v. Dr. Norbert Herz in Wien. M. 8.—.
- 20 **Versicherungsmathematik** v. Dr. W. Grossmann in Wien. M. 5.—.
- 25 **Analytische Geometrie des Raumes II. Teil: Die Flächen zweiten Grades** von Prof. Dr. Max Simon in Strassburg. M. 4.40.
- 27 **Geometrische Transformationen I. Teil: Die projektiven Transformationen nebst ihren Anwendungen** von Professor Dr. Karl Doehle- mann in München. M. 10.—.
- 31 **Theorie der algebraischen Funktionen und ihrer Integrale** v. Oberlehrer E. Landfriedt in Strassburg. M. 8.50.
- 34 **Liniengeometrie mit Anwendungen I. Teil** von Professor Dr. Konrad Zindler in Innsbruck. M. 12.—.

# Sammlung Schubert

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- |                                                                                                                    |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35 <b>Mehrdimensionale Geometrie I. Teil: Die linearen Räume</b> v. Prof. Dr. P. H. Schoute in Groningen. M. 10.—. | 40 <b>Mathematische Optik</b> von Dr. J. Classen in Hamburg. M. 6.—.                                       |
| 39 <b>Thermodynamik I. Teil</b> von Prof. Dr. W. Voigt in Göttingen. M. 10.—.                                      | 46 <b>Thetafunktionen und hyperelliptische Funktionen</b> von Oberl. E. Landfriedt in Strassburg. M. 4.50. |

In Vorbereitung bezw. projiziert sind:

- |                                                                                                    |                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Integralrechnung</b> von Prof. Dr. Franz Meyer in Königsberg.                                   | <b>Theorie der höheren algebraischen Kurven.</b>                                                                                                     |
| <b>Elemente der Astronomie</b> von v. Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.                                | <b>Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen I u. II</b> von Prof. Dr. Victor Kommerell in Reutlingen und Prof. Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. |
| <b>Mathematische Geographie</b> von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.                                  | <b>Elliptische Funktionen</b> von Dr. Paul Epstein in Strassburg.                                                                                    |
| <b>Anwendungen der darstellenden Geometrie</b> von Prof. Erich Geyger in Kassel.                   | <b>Theorie u. Praxis der Reihen</b> v. Prof. C. Runge in Hannover.                                                                                   |
| <b>Geschichte der Mathematik</b> v. Prof. Dr. A. v. Braunmühl und Prof. Dr. S. Günther in München. | <b>Invariantentheorie</b> von Prof. Dr. Jos. Wellstein in Giessen.                                                                                   |
| <b>Dynamik</b> von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                               | <b>Mehrdimensionale Geometrie II. Teil</b> von Prof. Dr. P. H. Schoute in Groningen.                                                                 |
| <b>Technische Mechanik</b> von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                   | <b>Liniengeometrie II. Teil</b> v. Prof. Dr. Konrad Zindler in Innsbruck.                                                                            |
| <b>Geodäsie</b> von Prof. Dr. A. Galle in Potsdam.                                                 | <b>Kinematik</b> von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                                                                               |
| <b>Allgemeine Funktionentheorie</b> v. Dr. Paul Epstein in Strassburg.                             | <b>Potentialtheorie</b> von Oberlehrer Grimsehl in Hamburg.                                                                                          |
| <b>Räumliche projektive Geometrie.</b>                                                             | <b>Theorie der Elektrizität und des Magnetismus I und II</b> von Dr. J. Classen in Hamburg.                                                          |
| <b>Geometrische Transformationen II. Teil</b> von Prof. Dr. Karl Doehlemann in München.            |                                                                                                                                                      |

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung  
in Leipzig.

# Elemente der Stereometrie

von

**Prof. Dr. Gustav Holzmüller.**

- I. Band: **Die Lehrsätze und Konstruktionen.** Mit 282 Figuren. Preis broschiert Mk. 6.—, gebunden Mk. 6.60.
- II. Band: **Die Berechnung einfach gestalteter Körper.** Mit 156 Figuren. Preis broschiert Mk. 10.—, gebunden Mk. 10.80.
- III. Band: **Die Untersuchung und Konstruktion schwierigerer Raumbilde.** Mit 126 Figuren. Preis broschiert Mk. 9.—, gebunden Mk. 9.80.
- IV. Band: **Fortsetzung der schwierigeren Untersuchungen.** Mit 89 Figuren. Preis broschiert Mk. 9.—, gebunden Mk. 9.80.

Dieses Werk dürfte wohl einzig in seiner Art dastehen, denn in so umfassender und gründlicher Weise ist die Stereometrie noch nicht behandelt worden. Das Wort „elementar“ ist dabei so zu nehmen, dass die höhere Analysis und im allgemeinen auch die analytische Raumgeometrie ausgeschlossen bleiben, während die synthetische neuere Geometrie in den Kreis der Betrachtungen hineingezogen wird, soweit es die Methoden der darstellenden Geometrie erfordern.

Alle Figuren, auf die ganz besondere Sorgfalt verwendet worden ist, sind streng konstruiert und fast jede ist ein Beispiel der darstellenden Geometrie.

Trotz des elementaren Charakters geht diese neue Stereometrie weit über das übliche Ziel hinaus, gibt neben den Lehrsätzen umfangreiches Übungsmaterial, betont die Konstruktion und die Berechnung gleichmässig und wird somit an Vielseitigkeit und Gediegenheit des Inhalts wohl von keinem der hervorragenderen Lehrbücher erreicht.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung  
in Leipzig.

# Elemente der Geometrie der Lage

für den Schulunterricht

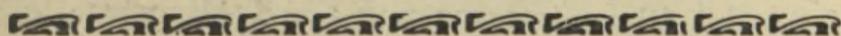
bearbeitet von

**Dr. Rudolf Böger,**

Professor am Realgymnasium des Johanneums in Hamburg.

Mit 33 Figuren.

Preis: Kartonniert 90 Pfg.



Formeln und Lehrsätze

der

# Allgemeinen Mechanik

in systematischer und geschichtlicher Entwicklung

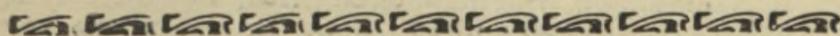
von

**Dr. Karl Heun,**

Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe

Mit 25 Figuren im Text.

Preis: Gebunden Mk. 3.50.



# Theorie des Schlick'schen Massenausgleichs

bei mehrkurbeligen Dampfmaschinen

von

**Dr. Hermann Schubert,**

Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg.

Preis: Broschiert Mk. 12.—.

S-98

# Göschens Kaufmännische Bibliothek

*Sammlung praktischer kaufmännischer Handbücher, die nach ihrer ganzen Anlage berufen sein sollen, sowohl im kaufmännischen Unterricht als in der Praxis wertvolle Dienste zu leisten.*

Bd. 1: **Deutsche Handelskorrespondenz** von **Robert Stern**, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Dozent an der Handelshochschule zu Leipzig. Geb. Mk. 1.80.

Bd. 2: **Deutsch-Französische Handelskorrespondenz** von Prof. Th de Beaux, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Geb. Mk. 3.—.

Bd. 3: **Deutsch - Englische Handelskorrespondenz** von **John Montgomery**, Director, and Hon-Secy, City of Liverpool School of Commerce, University College in Liverpool. Geb. M. 3.—.

Bd. 4: **Deutsch-Italienische Handelskorrespondenz** von Professor **Alberto de Beaux**, Oberlehrer am Königl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Geb. Mk. 3.—.

---

## Die Zeichenkunst

Methodische Darstellung des gesamten Zeichenwesens

Herausgegeben von **Karl Kimmich**.

Unter Mitwirkung von **H. Adel**, **H. Cammissar**, **Ludwig Hans Fischer**, **M. Fürst**, **Otto Hupp**, **Albert Kull**, **Konrad Lange**, **Adalb. Micholitsch**, **Adolf Möller**, **Paul Naumann**, **Fritz Reiss**, **H. v. Saint-George**, **H. Stelzl**, **R. Trunk**, **J. Vonderlinn** und anderen.

Zwei starke Bände mit 1091 Text-Illustrationen sowie 56 Farb- und Lichtdrucktafeln.

Preis: Gebunden Mark 25.—.

Auch in 23 Heften à Mk. 1.— zu beziehen.

---

**G. J. Göschen'sche Verlagshandlung  
in Leipzig.**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301417



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298040