

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

~~BIBLIOTEKA GŁÓWNA~~



26

L. inw. ....

Druk. U. J. Zam. 356. 10,000.

Die  
Gleichstrommaschine

von

C. Kinzbrunner

Mit 78 Figuren

## Verzeichnis der erschienenen Bände.

- Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre** von Dr. Paul Rippert in Berlin u. Ernst Langenbed in Bochum. Nr. 232.
- Akustik.** Theoret. Physik I. Teil: Mechanik u. Akustik. Von Dr. Gust. Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.
- **Musikalische**, v. Dr. Karl L. Schäfer, Dozent an der Universität Berlin. Mit 35 Abbild. Nr. 21.
- Algebra.** Arithmetik u. Algebra v. Dr. H. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- Alpen, Die**, von Dr. Rob. Sieger, Professor an der Universität und an der Exportakademie des k. k. Handelsmuseums in Wien. Mit 19 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 129.
- Altertümer, Die deutschen**, v. Dr. Franz Sühse, Dir. d. städt. Museums i. Braunschweig. Mit 70 Abb. Nr. 124.
- Altertumskunde, Griechische**, von Prof. Dr. Rich. Maisch, neubearbeitet von Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.
- **Römische**, von Dr. Leo Bloch, Dozent an der Universität Zürich. Mit 8 Vollb. Nr. 45.
- Analyse, Techn.-Chem.**, von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechn. Schule i. Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.
- Analysis, Höhere, I: Differentialrechnung.** Von Dr. Frdr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.
- — Repetitorium und Aufgabensammlung 3. Differentialrechnung v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Nr. 146.
- — II: Integralrechnung v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Nr. 88.
- — Repetitorium und Aufgabensammlung 2. Differentialrechnung v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Nr. 147.
- Analysis, Niedere**, von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.
- Arbeiterfrage, Die gewerbliche**, von Werner Sombart, Professor an der Universität Breslau. Nr. 209.
- Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- — Beispielsammlung zur Arithmetik u. Algebra v. Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.
- Astronomie.** Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper von A. S. Möbius, neu bearb. v. Dr. W. S. Wislicenus, Prof. a. d. Univers. Straßburg. Mit 36 Abb. u. 1 Sternk. Nr. 11.
- Astrophysik.** Die Beschaffenheit der Himmelskörper von Dr. Walter S. Wislicenus, Prof. an der Universität Straßburg. Mit 11 Abbild. Nr. 91.
- Aufgabensammlg. 1. Analyt. Geometrie d. Ebene v. O. Th. Bürklen**, Prof. am Realgymnasium in Schw. Gmünd. Mit 32 Figuren. Nr. 256.
- **Physikalische**, v. G. Mahler, Prof. der Mathem. u. Physik am Gymnas. in Ulm. Mit d. Resultaten. Nr. 243.
- Aussagenwürfe** von Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, v. G. Mahler, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.
- Baukunst, Die, des Abendlandes** von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.
- **Zweitmäßigste**, von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 14 Abbild. Nr. 75.
- **Die Motoren**, von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 14 Abbild. Nr. 225.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297989

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Bewegungsspiele** von Dr. E. Kohlrausch, Professor am Kgl. Kaiser-Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbild. Nr. 96.
- Biologie der Pflanzen** von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 127.
- Biologie der Tiere I: Entstehung u. Weiterbild. d. Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur** v. Dr. Heinr. Simroth, Professor a. d. Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.
- II: Beziehungen der Tiere zur organ. Natur v. Dr. Heinr. Simroth. Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Gleiberei.** Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Wilhelm Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Buchführung.** Lehrgang der einfachen u. dopp. Buchhaltung von Rob. Stern, Oberlehrer der Off. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule 3. Leipzig. Mit vielen Formularen. Nr. 115.
- Buddha** von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.
- Surgenkunde, Abriss der,** von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbild. Nr. 119.
- Chemie, Allgemeine und physikalische,** von Dr. Max Rudolphi, Doz. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.
- **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.
- — siehe auch: Metalle. — Metalloide.
- **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.
- **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.
- — III: Kohlenstoffverbindungen. Nr. 193.
- — IV: Heterocyclische Verbindungen. Nr. 194.
- Chemie, Physiologische** v. Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.
- — II: Dissimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 241.
- Chemisch-Technische Analyse** von Dr. G. Lunge, Professor an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.
- Eid. Der.** Geschichte des Don Rup Diaz, Grafen von Bivar. Von J. G. Herder. Hrsg. und erläutert von Prof. 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 m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Figuren. Nr. 8.
- Dichtungen a. mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Auswahl m. Einlgt. u. Wörterb. herausgeb. v. Dr. Herm. Janßen in Breslau. Nr. 137.
- Diatriehen.** Kudrun u. Diatriehen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Zirczel, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.
- Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junker, Prof. a. Karls-Gymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.
- **Repetitorium u. Aufgabensammlung** 3. Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Professor am Karls-Gymnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.
- Eddalieder** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.
- Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.
- II. Teil: Das Schmiedeeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Elektricität.** Theoret. Physik III. Teil: Elektricität u. Magnetismus. Von Dr. Gust. Jäger, Professor a. d. Univerf. Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.
- Elektrochemie I:** Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chem. Grundlagen v. Dr. Heinrich Danneel, Privatdozent an der Kgl. technischen Hochschule zu Aachen. Mit 18 Fig. Nr. 252.
- Elektrotechnik.** Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.
- II: Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Figuren. Nr. 197.
- III: Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Figuren. Nr. 198.
- Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht** von Dr. A. Nippoldt jr., Mitgl. d. Kgl. Preuß. Meteorol. Inst. 3. Potsdam. M. 14 Abb. u. 3 Taf. Nr. 175.
- Ethik** von Professor Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.
- Färberei.** Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei u. ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Lehrer a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie i. Krefeld. M. 28 Fig. Nr. 186.
- Fernsprechwesen, Das,** von Dr. Ludwig Kellstab in Berlin. Mit 47 Figuren und 1 Tafel. Nr. 155.
- Filzfabrikation.** Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Finanzwissenschaft v. Geh. Reg.-Rat** Dr. R. van der Borcht, Präsident des Statistischen Amtes in Berlin. Nr. 148.
- Fischerei und Fischzucht** v. Dr. Karl Eckstein, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.
- Formelsammlung, Mathemat., u.** Repetitorium d. Mathematik, enth. die wichtigsten Formeln und Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie d. Ebene u. d. Raumes, d. Different.- u. Integralrechn. v. O. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.
- **Physikalische,** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.
- Forstwissenschaft** von Dr. Ad. Schwappach, Professor an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 106.
- Fremdwort, Das, im Deutschen** von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 55.
- Gardinenfabrikation.** Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Geodäsie** von Dr. C. Reinherz, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.
- Geographie, Astronomische,** von Dr. Stegm. Günther, Professor a. d. Technischen Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.
- **Physische,** von Dr. Stegm. Günther, Professor an der Königl. Technischen Hochschule in München. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26.
- f. auch: Landeskunde. — Länderkunde.
- Geologie** v. Professor Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. und 4 Tafeln mit über 50 Figuren. Nr. 13.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Geometrie, Analytische, der Ebene** v. Professor Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 57 Figuren. Nr. 65.
- — **Aufgabensammlung zur Analyt. Geometrie der Ebene** von O. Th. Bürklen, Professor am Realgymnas. in Schw.-Gmünd. Mit 32 Figuren. Nr. 256.
  - **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbildungen. Nr. 89.
  - **Darstellende**, v. Dr. Rob. Haugner, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. I. Mit 110 Figuren. Nr. 142.
  - **Ebene**, von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb. Fig. Nr. 41.
  - **Projektive**, in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 85 zum Teil zweifarb. Figuren. Nr. 72.
- Geschichte, Badische**, von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim und Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.
- **Bayerische**, von Dr. Hans Odel in Augsburg. Nr. 160.
  - **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.
  - **Deutsche, im Mittelalter** (bis 1500) von Dr. F. Kurze, Oberl. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.
  - **im Zeitalter der Reformation u. der Religionskriege** von Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 34.
  - **Französische**, von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univerf. Berlin. Nr. 85.
  - **Griechische**, von Dr. Heinrich Swoboda, Professor an der deutschen Universität Prag. Nr. 49.
  - **des 19. Jahrhunderts** v. Oskar Jäger, o. Honorarprofessor an der Univerf. Bonn. 1. Bdchn.: 1800—1852. Nr. 216.
- Geschichte des 19. Jahrhunderts** von Oskar Jäger, o. Honorarprof. an der Universität Bonn. 2. Bdchn.: 1853 bis Ende d. Jahrh. Nr. 217.
- **Israels** bis auf die griech. Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.
  - **Lothringens**, von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.
  - **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Prof. a. d. Univerf. München. M. 6 Bild. u. 1 Kart. Nr. 43.
  - **Österreichische, I: Von der Urzeit bis 1526** von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. a. d. Univ. Graz. Nr. 104.
  - — **II: Von 1526 bis zur Gegenwart** von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. an der Univ. Graz. Nr. 105.
  - **Römische**, neubearb. von Realgymnasial-Dir. Dr. Jul. Koch. Nr. 19.
  - **Russische**, v. Dr. Wilh. Reeb, Oberl. am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.
  - **Sächsische**, von Prof. Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.
  - **Schweizerische**, von Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.
  - **der Malerei** siehe: Malerei.
  - **der Mathematik** s.: Mathematik.
  - **der Musik** siehe: Musik.
  - **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.
  - **des deutschen Romans** s.: Roman.
  - **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 von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.
- Gewerbewesen** von Werner Sombart, Professor an d. Universität Breslau. I. II. Nr. 203. 204.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Gletscherkunde** von Dr. Fritz Machacek in Wien. Mit 5 Abbild. im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.

**Gottfried von Straßburg.** Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. 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.

**Grammatik, Deutsche,** und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Professor Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

— **Griechische, I:** Formenlehre von Dr. Hans Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.

— — **II:** Bedeutungslehre und Syntax von Dr. Hans Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.

— **Lateinische.** Grundriß der lateinischen Sprachlehre von Professor Dr. W. Votsch in Magdeburg. Nr. 82.

— **Mittelhochdeutsche.** Der Nibelunge Nôt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Prof. a. d. Universität Rostock. Nr. 1.

— **Russische,** von Dr. Eriç Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 66.

— — siehe auch: Russisches Gesprächsbuch. — Lesebuch.

**Handelskorrespondenz, Deutsche,** von Prof. Th. de Beaug, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 182.

— **Englische,** von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn. Nr. 237.

**Handelskorrespondenz, Französische,** von Professor Th. de Beaug, Oberlehrer a. d. Öffentlichen Handelslehranstalt u. Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 183.

— **Italienische,** von Professor Alberto de Beaug, Oberlehrer am Kgl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Nr. 219.

**Handelspolitik, Auswärtige,** von Dr. Heinr. Sieveking, Prof. an der Universität Marburg. Nr. 245.

**Harmonielehre** von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.

**Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg.** Auswahl aus dem höfischen Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Professor am Königlichen Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

**Hauptliteraturen, Die, d. Orients** v. Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. a. d. Universität Wien. I. II. Nr. 162, 163.

**Heldensage, Die deutsche,** von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an der Universität Münster. Nr. 32.

— siehe auch: Mythologie.

**Herder, Der Eid.** Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen von Bivar. Herausgegeben u. erläutert von Prof. Dr. Ernst Naumann in Berlin. Nr. 36.

**Industrie, Anorganische Chemische,** v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsodaindustrie und ihre Nebenzweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.

— — II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes. Mit 6 Tafeln. Nr. 206.

— — III: Anorganische Chemische Präparate. Mit 6 Tafeln. Nr. 207.

— **der Silikate, der künstl. Bausteine und des Mörtels. I:** Glas- und keramische Industrie von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 233.

— — II: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.

# Sammlung Götschen

Jein elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Integralrechnung** von Dr. Friedr. Junker, Professor am Karlslymn. in Stuttgart. Mit 89 Fig. Nr. 88.
- **Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung** von Dr. Friedrich Junker, Professor am Karlslymnasium in Stuttgart. Mit 50 Figuren. Nr. 147.
- Kartenkunde**, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Cussinpiccolo und F. Sauter, Professor am Realsymnasium in Ulm, neu bearbeitet von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbildungen. Nr. 30.
- Kirchenlied**. Martin Luther, Thom. Murner, und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Professor G. Berlit, Oberlehrer am Nitolaisymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Klimallehre** von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln und 2 Figuren. Nr. 114.
- Kolonialgeschichte** von Dr. Dietrich Schäfer, Professor 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 von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.
- Kristallographie** von Dr. W. Brühns, Professor an der Universität Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 210.
- Kudrun und Dietrichszenen**. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. E. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.
- — siehe auch: *Leben, Deutsches*, im 12. Jahrhundert.
- Kultur, Die, der Renaissance**. Gesellschaft, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 189.
- Kulturgegeschichte, Deutsche**, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.
- Künste, Die graphischen**, von Carl Kampmann, Sachlehrer a. d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbildungen und Beilagen. Nr. 75.
- Kurzschrift** siehe: *Stenographie*.
- Länderkunde von Europa** von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textfärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.
- **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textfärtchen u. Profil. Nr. 63.
- Landeskunde von Baden** von Prof. Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. III. Profil. Abbildungen und 1 Karte. Nr. 199.
- **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.
- **von Elsaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildgn. u. 1 Karte. Nr. 215.
- **der Iberischen Halbinsel** von Dr. Fritz Regel, Professor an der Universität Würzburg. Mit 8 Kärtchen und 8 Abbildung. im Text und 1 Karte, in Farbendruck. Nr. 235.
- **von Osterreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 10 Textillustration, und 1 Karte. Nr. 244.
- **des Königreichs Sachsen** v. Dr. J. Semmrich, Oberlehrer am Realsymnas. in Plauen. Mit 12 Abbildungen u. 1 Karte. Nr. 258.
- **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen u. Dänemark) von Heinz Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Landeskunde des Königreichs  
Württemberg** v. Dr. Kurt Hassert,  
Professor d. Geographie an der Han-  
delshochschule in Köln. Mit 16 Voll-  
bildern und 1 Karte. Nr. 157.

**Landwirtschaftliche Betriebslehre**  
von Ernst Langenbeck in Bochum.  
Nr. 227.

**Leben, Deutsches, im 12. Jahr-  
hundert.** Kulturhistorische Er-  
läuterungen zum Nibelungenlied  
und zur Kudrun. Von Professor  
Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg  
i. B. Mit 1 Tafel und 30 Ab-  
bildungen. Nr. 93.

**Lesungs Emilia Galotti.** Mit Ein-  
leitung und Anmerkungen von Prof.  
Dr. W. Dotsch. Nr. 2.

— **Minna v. Barnhelm.** Mit Ann.  
von Dr. Tomaschek. Nr. 5.

**Licht.** Theoretische Physik II. Teil:  
Licht und Wärme. Von Dr. Gust.  
Jäger, Professor an der Universität  
Wien. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

**Literatur, Althochdeutsche,** mit  
Grammatik, Übersetzung und Er-  
läuterungen von Th. Schaffler,  
Professor am Realgymnasium in  
Ulm. Nr. 28.

**Literaturdenkmäler des 14. u. 15.  
Jahrhunderts.** Ausgewählt und  
erläutert von Dr. Hermann Jankin  
in Breslau. Nr. 181.

— **des 16. Jahrhunderts I: Mar-  
tin Luther, Thom. Murner u.  
das Kirchenlied des 16. Jahr-  
hunderts.** Ausgewählt und mit  
Einleitungen und Anmerkungen ver-  
sehen von Prof. G. Berlit, Ober-  
lehrer am Nikolaigymnasium zu  
Leipzig. Nr. 7.

— **II: Hans Sachs.** Ausgewählt  
und erläutert von Prof. Dr. Jul.  
Sahr, Oberlehrer a. D. am Kgl.  
Kadettenkorps zu Dresden. Nr. 24.

**Literaturen, Die, des Orients.**

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

— II. Teil: Die Literaturen der Per-  
ser, 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.

— **Deutsche, der Klassikerzeit** von  
Carl Weitbrecht, Professor an der  
Technischen Hochschule Stuttgart.  
Nr. 161.

— **Deutsche, des 19. Jahrhunderts**  
von Carl Weitbrecht, Professor 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 Gerde, Professor  
an der Universität Greifswald.  
Nr. 70.

— **Italienische,** von Dr. Karl Voshler,  
Professor a. d. Universität Heidel-  
berg. Nr. 125.

— **Portugiesische,** von Dr. Karl von  
Reinhardstoettner, Professor an der  
Kgl. Technischen Hochschule in Mün-  
chen. Nr. 213.

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

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

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

fortsetzung auf der 8. Vorsatzseite!

Sammlung Göschen

---

# Die Gleichstrommaschine

von

**C. Kinzbrunner**

Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik  
an der Municipal School of Technology in Manchester

Mit 78 Figuren

~~~~~  
Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1905

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,  
von der Verlagshandlung vorbehalten.

---

~~126~~



1-301310

- Arnold, E., Die Gleichstrommaschine. 2 Bde. Berlin 1902.  
Fischer-Hinnen, J., Die Wirkungsweise, Rechnung  
und Konstruktion elektrischer Gleichstrommaschinen.  
Zürich 1904.  
Kapp, Gisbert, Dynamomaschinen für Gleich- und  
Wechselstrom. 4. Aufl. Berlin 1904.  
Kinzbrunner, Carl, Die Prüfung von Gleichstrom-  
maschinen in Laboratorien und Prüfräumen. Berlin 1904.

---

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig

Akc. Nr. \_\_\_\_\_

~~4697~~ 51

BPU-B-568/2010

# Inhaltsverzeichnis.

|                                                                                     | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| I. Einleitung . . . . .                                                             | 5     |
| II. Die Berechnung von Gleichstrommaschinen                                         | 17    |
| Ankertype . . . . .                                                                 | 17    |
| Ankerwicklung . . . . .                                                             | 11    |
| Tourenzahl . . . . .                                                                | 22    |
| Polzahl . . . . .                                                                   | 24    |
| Ankerlänge . . . . .                                                                | 24    |
| Berechnung des Ankerdurchmessers und der<br>Ankerlänge . . . . .                    | 25    |
| Berechnung der Ankerwicklung . . . . .                                              | 27    |
| Berechnung des inneren Ankerdurchmessers .                                          | 35    |
| Berechnung der Kommutator- und Bürsten-<br>dimensionen . . . . .                    | 37    |
| Berechnung des Magnetgestelles . . . . .                                            | 39    |
| Berechnung der Erreger-Amperewindungen und<br>der Erregerwicklung . . . . .         | 44    |
| Kommutierung, Ankerrückwirkung und Berech-<br>nung des Luftzwischenraumes . . . . . | 52    |
| Berechnung der Magnetwicklung . . . . .                                             | 61    |
| a) Nebenschlußwicklung . . . . .                                                    | 62    |
| b) Hauptschlußwicklung . . . . .                                                    | 64    |
| III. Die Effektverluste und die Erwärmung<br>von Gleichstrommaschinen . . . . .     | 65    |
| Verluste durch Stromwärme . . . . .                                                 | 65    |
| Magnetische Verluste . . . . .                                                      | 67    |
| Mechanische Verluste . . . . .                                                      | 73    |
| Erwärmung des Ankers und der Magnetspulen                                           | 75    |

|                                                                              | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| IV. Die Konstruktion von Gleichstrommaschinen                                | 77    |
| Die Welle . . . . .                                                          | 78    |
| Der Anker . . . . .                                                          | 79    |
| Der Kommutator . . . . .                                                     | 86    |
| Bürstenhalter und Bürstenschieber . . . . .                                  | 87    |
| Polschuhe, Magnetkerne und Joch . . . . .                                    | 89    |
| V. Wirkungsweise und Verwendungsgebiet<br>von Gleichstrommaschinen . . . . . | 92    |
| Nebenschlußgeneratoren . . . . .                                             | 92    |
| Bahngeneratoren . . . . .                                                    | 94    |
| Maschinen für Akkumulatorenladung . . . . .                                  | 94    |
| Zusatzmaschinen . . . . .                                                    | 96    |
| Maschinen für elektrochemische Zwecke . . . . .                              | 96    |
| Hauptschlußgeneratoren . . . . .                                             | 97    |
| Compoundgeneratoren . . . . .                                                | 99    |
| Nebenschlußmotoren . . . . .                                                 | 99    |
| Serienmotoren . . . . .                                                      | 103   |
| Compoundmotoren . . . . .                                                    | 108   |
| VI. Die Prüfung von Gleichstrommaschinen . . . . .                           | 109   |
| A. Die charakteristischen Kurven . . . . .                                   | 110   |
| Leerlaufcharakteristik einer Nebenschluß-<br>dynamo . . . . .                | 110   |
| Belastungscharakteristik . . . . .                                           | 112   |
| Leerlaufcharakteristik eines Nebenschluß-<br>motors . . . . .                | 114   |
| Belastungscharakteristik . . . . .                                           | 116   |
| Leerlaufcharakteristik eines Seriengenerators . . . . .                      | 117   |
| Belastungscharakteristik . . . . .                                           | 117   |
| Leerlaufcharakteristik eines Serienmotors . . . . .                          | 119   |
| Belastungscharakteristik . . . . .                                           | 119   |
| Belastungscharakteristik eines Compound-<br>generators . . . . .             | 120   |
| B. Die Bestimmung der Leistung und der<br>Temperaturerhöhung . . . . .       | 121   |
| C. Die Bestimmung des Nutzeffektes . . . . .                                 | 123   |
| Die direkte Methode . . . . .                                                | 123   |
| Die indirekte Methode . . . . .                                              | 128   |
| VII. Die Aufstellung und Wartung von Gleich-<br>strommaschinen . . . . .     | 130   |

## I. Einleitung.

---

Eine Gleichstrommaschine — gleichgültig ob Stromerzeuger oder Motor — besteht im wesentlichen aus drei Teilen, nämlich:

1. dem Magnetgestelle, in welchem eine Anzahl von magnetischen Kraftlinien erzeugt werden;
2. dem Anker, an dessen Umfange eine Anzahl von Leitern angebracht ist, die in einer solchen Weise untereinander verbunden sind, daß die in ihnen erzeugten E. M. Ke. wechselnder Richtung sich addieren.

Die Bedingung für die Erzeugung dieser E. M. Ke. ist ein Schneiden von Kraftlinien; daraus geht hervor, daß der Anker rotieren muß.

Da es nur auf eine relative Bewegung zwischen den Kraftlinien und den Ankerdrähten ankommt, so könnte natürlich auch der Anker stationär bleiben und das Magnetgestell rotieren. Diese Anordnung entspricht den sogenannten Innenpolmaschinen, die nur mehr selten gebaut werden (siehe auch II. Teil, S. 47).

3. dem Kommutator, durch welchen die in den Ankerdrähten induzierten E. M. Ke. wechselnder Richtung gleichgerichtet, d. h. in Gleichspannung (Gleichstrom) verwandelt werden. Dem mit dem Anker rotierenden

Kommutator wird der Strom durch feststehende Bürsten abgenommen, bzw. zugeführt.

Die Drehung des Ankers und Kommutators bedingt zwei weitere Konstruktionsteile, nämlich Welle und Lager. Magnetgestell, Anker und Kommutator kann man als elektromagnetische, Welle, Lager und Grundplatte als mechanische Konstruktionsteile bezeichnen.

Im folgenden soll zunächst die Berechnung, d. h. die Bestimmung der Größe der einzelnen Konstruktionsteile für eine bestimmte Leistung der Maschine behandelt werden, sodann die Konstruktion, bzw. die Ausführung der einzelnen Teile.

---

Vor Besprechung des eigentlichen Berechnungsganges soll zunächst untersucht werden, von welchen Konstruktionsteilen die Größe einer Gleichstrommaschine in erster Linie abhängt. Es sei von vornherein bemerkt, daß die Berechnung einer Gleichstrommaschine, bzw. ihrer Konstruktion keine besonderen Schwierigkeiten bietet, solange das zum Bau verwendete Material, also die Kosten der Maschine keine Rolle spielen. Erst das Bestreben, gute Maschinen mit einem möglichst geringen Aufwande an Material, also billig herzustellen, bietet dem Konstrukteur Schwierigkeiten, deren Überwindung eine genaue Kenntnis der Theorie der Maschine erfordert. Dies erklärt auch, daß es möglich war, ganz vorzüglich arbeitende Gleichstrommaschinen bereits zu einer Zeit zu bauen, zu der über die Theorie dieses Gegenstandes so gut wie nichts bekannt war. Diese alten Maschinen übertreffen in Größe unsere modernen Maschinen gleicher Leistung oft um das Doppelte bis Dreifache.

---

Bekanntlich ist die Leistung einer Gleichstrommaschine dem Produkt aus Spannung und Stromstärke ( $E \times J$ ) direkt oder nahezu direkt proportional. Betrachten wir der Einfachheit halber eine zweipolige Maschine mit glattem Anker, deren Polschuhzentriwinkel  $180^\circ$  beträgt<sup>1)</sup> (siehe Fig. 1), und bezeichnen wir mit

$B_l$  die Induktion im Luftzwischenraume,

$D$  den Durchmesser des Ankers,

$l$  die Länge des Ankers,

$Z_1$  die Zahl der Ankerdrähte,

$v$  die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers in m/sec,

$\Phi$  die von einem Pole aus tretende Kraftlinienzahl,

$N_s$  die Tourenzahl des Ankers pro Sekunde,

so ist nach Formel (9) I, die in einem Leiter induzierte E. M. K.

$$(1) \quad E = B_l l v 10^{-8} \text{ Volt.}$$

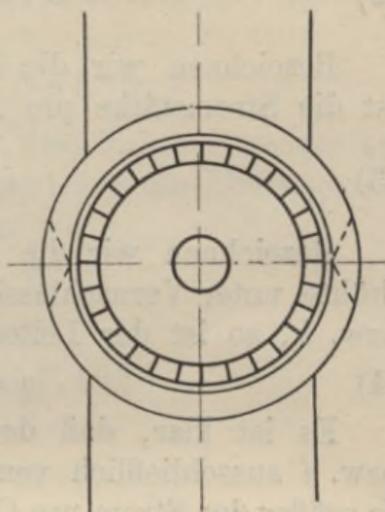


Fig. 1.

<sup>1)</sup> Eine solche Maschine wird man natürlich aus mehreren Gründen nicht bauen. Die Tatsache aber, daß der Polschuhwinkel einer zweipoligen Maschine bei der wirklichen Ausführung nur  $120^\circ$ — $130^\circ$  beträgt, ändert an der vorangeführten Überlegung prinzipiell nichts.

Da die in  $\frac{Z_1}{2}$  Drähten induzierten E. M. Ke. sich addieren, so ist die E. M. K. des Ankers

$$(2) \quad E = B_l l v \frac{Z_1}{2} 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Bezeichnen wir die äußere Stromstärke mit  $J$ , so ist die Stromstärke pro Ankerleiter

$$(3) \quad i = \frac{J}{2}.$$

Bezeichnen wir die Höhe, bzw. Breite der Ankerdrähte unter Vernachlässigung der Drahtisolation mit  $h$  bzw.  $b$ , so ist der Leiterquerschnitt

$$(4) \quad q = h \cdot b.$$

Es ist klar, daß der maximal zulässige Strom  $J$ , bzw.  $i$  ausschließlich vom Leiterquerschnitte  $q$  abhängt. Je größer der Strom pro Querschnittseinheit, desto größer die Erwärmung des Drahtes; da letztere jedoch bei guten Maschinen ein gewisses Maximum nicht überschreiten soll, so ist damit auch die Größe der spezifischen Stromstärke (Strom pro Querschnittseinheit) begrenzt. Selbstverständlich wird man aus Gründen der Ökonomie diesen Wert so hoch wählen, als es mit Rücksicht auf die Erwärmung der Maschine noch zulässig ist. Bezeichnet man den spezifischen Strom mit  $i_1$ , so ist

$$i = q i_1$$

und

$$(5) \quad J = 2 q i_1.$$

Die Breite eines jeden Leiters

$$(6) \quad b = \frac{D \pi}{Z_1}.$$

Aus (4) (5) und (6) folgt

$$(7) \quad J = \frac{2 i_1 D \pi h}{Z_1}.$$

Durch Multiplikation von Gleichung (2) und (7) erhält man

$$(8) \quad E \times J = B_l v i_1 l D \pi h 10^{-8}.$$

Es entspricht nun  $D \pi l h$  dem Volumen desjenigen Zylinders, der durch die Ankerleiter am Umfange des Ankers gebildet wird. Setzen wir

$$(9) \quad D \pi l h = V_i,$$

so ist

$$E \times J = B_l v i_1 V_i 10^{-8}$$

oder

$$(10) \quad E \times J = C B_l v V_i,$$

wobei

$$C = i_1 10^{-8}.$$

Diese Formel ist sehr lehrreich. Wir ersehen aus ihr, daß die Leistung einer Gleichstrommaschine dem Volumen des Stromzylinders proportional ist; unter Stromzylinder verstehen wir hier jenen Zylinder, der durch die am Umfang des Ankers befindlichen Leiter gebildet wird. Besonders zu beachten ist, daß weder der Durchmesser noch die Länge des Ankers in die obige Formel eingehen. Demnach ist es für die Leistung der Maschine belanglos, ob der Durchmesser des Ankers groß und der Anker kurz, oder umgekehrt, der Durchmesser klein und der Anker lang ist, sofern nur das Produkt aus Durchmesser und Länge, bzw. das Volumen des Stromzylinders dasselbe bleibt.

Der Einfluß der Geschwindigkeit, bzw. der Tourenzahl des Ankers auf die Leistung der Maschine ist ohneweiters verständlich. Wie bei allen Kraftmaschinen, so ist auch hier die Leistung der Tourenzahl direkt proportional. Der letzteren sind natürlich aus rein mechanischen Gründen Grenzen gezogen.

Auf die Leistung einer Gleichstrommaschine hat ferner die Induktion im Luftzwischenraume  $B_l$  einen Einfluß, und zwar ist die Leistung dieser Induktion direkt proportional.

Schließlich wäre noch der Einfluß der Konstanten  $C$  auf die Leistung zu besprechen. In der Ableitung der Formel (10) haben wir verschiedene Annahmen gemacht, nämlich daß

1. der Polschuhwinkel  $180^\circ$  beträgt,
2. die Maschine glatten Anker besitzt,
3. die Ankerdrähte unisoliert sind.

Unter diesen Annahmen enthält die Konstante  $C$  nur die spezifische Belastung der Ankerdrähte. Dann ist die Leistung dieser spezifischen Belastung direkt proportional. Es läßt sich aber leicht zeigen, daß die Formel (10) auch dann unverändert bestehen bleibt, wenn die unter 1. bis 3. gemachten Annahmen fallen gelassen werden. Allerdings erhalten wir dann eine andere Konstante,  $C_1$ , und es wird  $C_1 < C$ .  $C_1$  wird auch um so kleiner werden, je größer der von der Drahtisolation eingenommene Raum im Verhältnis zum Volumen des Stromzylinders ist. Ganz allgemein gesprochen, wird demnach die Leistung einer Maschine bei sonst gleichen Verhältnissen um so geringer sein, je größer ihre Spannung ist. Auch die Verkleinerung des Polschuhwinkels sowie die Ausführung eines Ankers mit Nuten bedingen eine Änderung, bzw. Verkleinerung der Konstanten  $C$ .

Wir wollen nunmehr untersuchen, wodurch die Leistung einer Gleichstrommaschine beliebig groß gemacht werden kann.

Erstens kann durch Vergrößerung des Volumens des Stromzylinders die Leistung erhöht, und zwar beliebig erhöht werden, denn es unterliegt natürlich gar keinen besonderen Schwierigkeiten, den Durchmesser oder die Länge des Ankers oder auch beide beliebig zu vergrößern; tatsächlich sind Ankerdurchmesser von mehreren Metern durchaus nichts Seltenes mehr.

Anders verhält es sich mit dem zweiten Faktor, nämlich der Umfangsgeschwindigkeit des Ankers; wohl kann auch diese ziemlich groß gemacht werden, doch ist hier eine Grenze bald erreicht. Aus mechanischen und teilweise auch elektrischen Rücksichten ist es nicht möglich, die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers größer zu machen als 50—60 m/sec; die normal zulässige Umfangsgeschwindigkeit beträgt jedoch gewöhnlich nur 20 bis 25 m/sec, selten mehr. Man wird natürlich bestrebt sein, die Leistung einer Maschine durch Wahl einer möglichst hohen Umfangsgeschwindigkeit von vornherein möglichst groß zu machen. Ein Mittel zur beliebigen Erhöhung der Leistung bietet aber die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit nicht.

Weiters ist die Leistung einer Maschine der Induktion des Luftzwischenraumes  $B_l$  proportional. Wir müssen daher untersuchen, wie weit wir mit der Vergrößerung von  $B_l$  gehen dürfen. Bekanntlich müssen alle den Luftraum passierenden Kraftlinien auch durch das Joch und die Pole gehen. Die Luftinduktion wird daher durch die maximal zulässige Induktion in den Polen begrenzt sein. Angenommen, daß die letzteren aus Stahlguß bestehen, so wissen wir, daß die maximal

zulässige Induktion für diesen ca. 17 000—19 000 beträgt. Wir wissen aber auch, daß es unökonomisch wäre, so hohe Induktionen zu wählen, da für diese ein unverhältnismäßig großer Aufwand an Erregerkupfer nötig wäre. Man wird daher diese Induktion nicht höher als 13 000—14 000 wählen, schon deshalb, weil die Spannung der Maschine bei noch höheren Induktionen nur schwer regulierbar wäre. Nehmen wir also eine maximale Induktion von 14 000 in den Polen an, und berücksichtigen wir, daß der Luftquerschnitt in der Regel ca. 1,5—2 mal so groß gewählt wird als der Polquerschnitt, so ergibt sich schon daraus, daß das Maximum der zulässigen Luftinduktion ca. 7 000—9 000 beträgt. Berücksichtigt man noch die magnetische Streuung (siehe II, S. 61), so wird dieser Wert noch geringer.

Bei Berechnung einer Gleichstrommaschine wird man aus Gründen der Ökonomie bestrebt sein,  $B_l$  möglichst groß zu machen. Andererseits liegt die Grenze — ca. 7 000—9 000 — ziemlich tief; man findet infolgedessen auch bei modernen Gleichstrommaschinen ziemlich konstante Werte für  $B_l$ , die nur, je nachdem es sich um glatte oder Nutenanker handelt, in geringen Grenzen variieren.

Schließlich wäre noch die Konstante  $C$  bzw.  $C_1$  zu berücksichtigen; sie hängt in erster Linie von der spezifischen Stromstärke, und diese von der maximal zulässigen Erwärmung ab. Da die Erwärmung ein gewisses Maß nicht überschreiten darf, so ist damit auch  $i_1$  bzw.  $C_1$  bestimmt. Natürlich wird man im Interesse der größtmöglichen Materialausnützung bestrebt sein,  $i_1$  so groß als möglich zu wählen. Auch von der spezifischen Stromstärke gilt das, was wir von der Induktion im Luftzwischenraume gesagt haben, nämlich, daß bei

guten, modern gebauten Maschinen ähnlicher Type dieser Wert nur innerhalb geringer Grenzen schwankt.

$C_1$  hängt auch noch von der Größe jenes Raumes ab, den die Draht- und Ankerisolation einnimmt. Je besser daher die Qualität der verwendeten Isolationsmaterialien ist, d. h. je dünner das Material bei einer gewissen Spannung sein darf, desto größer wird  $C_1$ . Es folgt daraus, daß es von Vorteil ist, nur allerbestes Isolationsmaterial zu verwenden.

Fassen wir die vorangeführten Überlegungen kurz zusammen, so ergibt sich folgendes:

Von den Faktoren, die die Leistung einer Gleichstrommaschine bestimmen, sind drei — Luftinduktion, Umfangsgeschwindigkeit und spezifische Belastung — nahezu konstant, bzw. dürfen ein gewisses Maximum nicht übersteigen. Das Volumen des Stromzylinders aber, der vierte Faktor, ist an keinerlei Grenzen gebunden; demnach ist dieser Faktor offenbar den größten Veränderungen unterworfen, oder, mit anderen Worten, er ist für die Leistung der Maschine in erster Linie bestimmend. Man wird sonach bei Berechnung einer Gleichstrommaschine von dem Volumen des Stromzylinders ausgehen; der letztere kann deshalb auch als der für die Berechnung wichtigste Teil einer Gleichstrommaschine angesehen werden.

Formel (10) berücksichtigt nur die Erwärmung und die Umfangsgeschwindigkeit der Maschine. Die Erwärmung ist indirekt auch für die in der Maschine auftretenden Verluste, bzw. ihren Nutzeffekt maßgebend. Ein wesentliches Erfordernis einer guten Gleichstrommaschine, nämlich eine funkenfreie Kommutierung, ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Auf die Bedingungen einer solchen werden wir noch zurückkommen. Hier

soll nur bemerkt werden, daß u. a. die Länge des Ankers, die Größe des Polschuhwinkels, die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers, die Art der Wicklung und die Ankerrückwirkung einen Einfluß auf die Funkenbildung ausüben. Es sei ferner erwähnt, daß zur Erzielung eines funkenfreien Kommutators die Länge des Ankers sowie der Polschuhwinkel eine gewisse Größe womöglich nicht überschreiten soll; auch soll die Zahl der Ankeramperewindungen per Zentimeter, d. i. das Produkt aus der auf einen Zentimeter des Ankers entfallenden Ankerdrahtzahl und der Stromstärke pro Draht einen gewissen Erfahrungswert nicht überschreiten.

## II. Die Berechnung von Gleichstrommaschinen.

Den Ausgangspunkt für die Berechnung einer Gleichstrommaschine bildet stets die gegebene Leistung (bei einer Dynamo in KW., bei einem Motor in PS.), die Spannung  $E$ , und in manchen Fällen auch die Tourenzahl.

Diese Werte allein sind jedoch für die Berechnung der Maschine nicht genügend; denn es kommen auch noch weitere Faktoren, wie Luftinduktion, spezifische Beanspruchung usw., in Betracht.

Zur Entwicklung einer Formel für die Dimensionierung des Ankers benützen wir die Grundformel (II, S. 14)

$$E = \Phi N_s Z_1 10^{-8} .$$

Diese Formel gilt für eine zweipolige Maschine. Besitzt die Maschine jedoch  $2p$  Pole, und ist der Anker

derart gewickelt, daß er zwei Stromzweige besitzt (mehrpole Wicklung mit Serienschaltung, II, S. 33), so ist

$$(11) \quad E = p \Phi N_s Z_1 10^{-8} \text{ Volt.}$$

In manchen Fällen ist es zweckmäßig, weder eine reine Serienwicklung noch eine Parallelwicklung zu verwenden, sondern eine sogenannte Serienparallelwicklung, bei welcher dann die Anzahl von Ankerstromzweigen unabhängig von der Polzahl sein kann (siehe S. 19). Bezeichnet man ganz allgemein die Anzahl von Ankerstromzweigen mit  $2a$ , so ist

$$(12) \quad E = \frac{p}{a} \Phi N_s Z_1 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Führen wir anstatt der Tourenzahl pro Sekunde  $N_s$  jene pro Minute  $n$  ein, so ist

$$(13) \quad E = \frac{p}{a} \frac{n}{60} \Phi Z_1 10^{-8} \text{ Volt,}$$

und

$$(14) \quad i = \frac{J}{2a}.$$

Führen wir ferner noch den Begriff des Stromvolumens  $AS$  ein, so ist

$$(15) \quad AS = \frac{Z_1 i}{D\pi} = \frac{Z_1 J}{D\pi 2a}.$$

Es ist ferner die pro Pol eintretende, bzw. austretende Anzahl von Kraftlinien gleich der Polschuhfläche multipliziert mit der Luftinduktion, also:

$$(16) \quad \Phi = b_i \cdot l B_l,$$

wobei  $b_i$  = der Breite des Polschuhes und  $l$  = der Länge des Polschuhes. Die Breite eines Polschuhes

$$(17) \quad b_i = \frac{D \cdot \pi \cdot \alpha}{2p}.$$

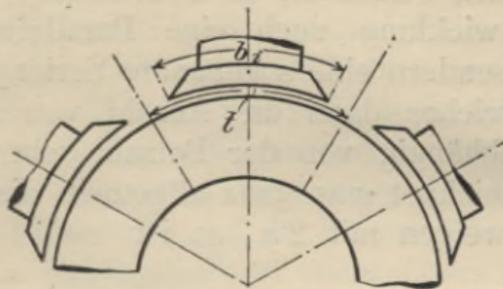


Fig. 2.

Hierbei ist  $\alpha$  das Verhältnis von Polschuhbreite zu Polteilung (siehe Fig. 2), also:

$$(18) \quad \alpha = \frac{b_i}{t} \quad \text{und} \quad t = \frac{D\pi}{2p}.$$

Aus den Gleichungen (13) bis (18) folgt:

$$(19) \quad D^2 l = \frac{EJ \cdot 6 \cdot 10^8}{n \alpha B_l A S}.$$

Durch Einsetzen der Werte auf der rechten Seite der Gleichung läßt sich nunmehr die Größe des Ankers, bzw. das Produkt aus Durchmesser und Länge bestimmen. Es ist selbstverständlich, daß man auf diese Weise nicht sofort zum richtigen Resultate gelangen kann; denn erstens erhält man nur  $lD$ , und die Bestimmung des Verhältnisses  $l:D$  erfordert zahlreiche Überlegungen und Nachrechnungen. Ferner können für  $B$ ,  $AS$  und  $\alpha$  nur Erfahrungswerte eingesetzt werden, welche später eventuell noch mehrfach zu ändern sind;

insbesondere muß dies öfters mit Rücksicht auf eine funkenfreie Kommutierung geschehen.

Vor Einsetzen der Werte von  $AS$ ,  $B_l$ ,  $\alpha$  und  $n$  in Gleichung (19) muß man zunächst über die Type des Ankers, über die Art der Ankerwicklung, die Polzahl und das Verhältnis von Polbreite zu Pollänge entscheiden.

### Ankertype.

Wie schon im zweiten Teile (S. 42) bemerkt, wird in den allermeisten Fällen dem Trommelanker der Vorzug vor dem Ringanker gegeben werden, und zwar weil

1. bei gleicher Leistung und gleichen Verlusten in der Ankerwicklung das Kupfergewicht beim Trommelanker geringer ist als beim Ringanker,

2. weil Schablonenwicklungen, welche ihrer Solidität und billigen Herstellung halber bei mittleren und großen Maschinen nahezu ausschließlich verwendet werden, nur bei Trommel-, nicht aber bei Ringankern möglich sind.

Wohl steht dem gegenüber, daß bei Ringankern die Spannung zwischen zwei nebeneinander liegenden Drähten nur gering ist, während sie bei Trommelankern gleich der Hälfte der normalen Spannung ist; doch kommt dies nur bei Hochspannungsmaschinen in Betracht. Man wird somit, wenn nicht zwingende Gründe dagegen sprechen, stets dem Trommelanker den Vorzug geben.

### Ankerwicklung.

Bei der Wahl der Ankerwicklung kommen geschlossene und offene Wicklungen in Betracht. Die letzteren finden nur in Ausnahmefällen Verwendung (z. B. bei Maschinen für Bogenlichtbeleuchtung usw.). Für normale moderne Maschinen kommen nur geschlossene Ankerwicklungen in Betracht.

Die geschlossenen Wicklungen können entweder reine Parallelwicklungen oder reine Serienwicklungen sein.

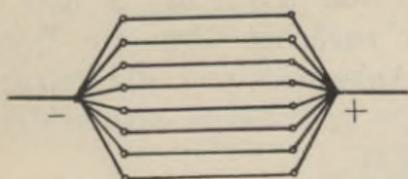


Fig. 3.

Schema einer Parallelwicklung.

In ersterem Falle sind sämtliche Ankerstromzweige parallel geschaltet (s. Fig. 3). Bezeichnet man die Zahl der parallelen Ankerstromzweige mit  $2a$ , so ist bei der reinen Parallelschaltung die Stromstärke pro Ankerdraht

$$i = \frac{J}{2a}.$$

In diesem Falle, nämlich bei reiner Parallelschaltung, ist  $a = p$ , somit auch

$$i = \frac{J}{2p}.$$

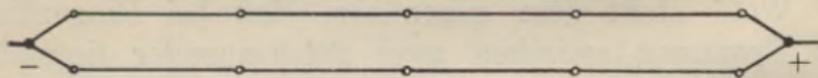


Fig. 4. Schema einer Serienwicklung.

Bei der reinen Serienschaltung ist je eine Hälfte aller Ankerstromzweige in Serie, und beide Gruppen parallel geschaltet (siehe Fig. 4). Es ist dann

$$i = \frac{J}{2}.$$

Die Art der zu wählenden Ankerwicklung hängt in erster Linie von der Ankerstromstärke ab. Es soll nämlich die Stromstärke pro Ankerdraht weder zu groß noch zu klein sein. Im ersteren Falle müßten die zur Wicklung verwendeten Stäbe einen zu großen Quer-

schnitt erhalten, was sowohl mit Rücksicht auf die Ausführung der Wicklung als auch mit Rücksicht auf die in der Ankerwicklung auftretenden Wirbelstromverluste (siehe auch S. 71) untunlich wäre. Wird hingegen der Strom pro Draht und damit auch der Drahtquerschnitt selbst sehr klein, so muß anstatt der konstruktiv so einfachen Stabwicklung eine Drahtwicklung verwendet werden, wobei der von der Drahtisolation eingenommene Raum verhältnismäßig groß, daher auch die Leistung der Maschine geringer wird.

Die Wicklung ist daher stets so zu wählen, daß ein jeweils passender Stabquerschnitt erzielt wird. Nehmen wir beispielsweise den Anker einer 12poligen Maschine für 360 Ampere. Führt man diesen Anker mit Serienwicklung aus, so wird die Stromstärke pro Draht  $\frac{360}{2} = 180$  Ampere betragen; dies ist etwas zu viel, da man aus den vorgenannten Gründen nicht gern über 150 Ampere per Ankerdraht geht. Führt man die Wicklung jedoch als Parallelwicklung aus, so würde sich ein Strom von  $\frac{360}{12} = 30$  Ampere ergeben. Der entsprechende Draht wäre für eine so große Maschine zu schwach.

In einem solchen Falle wird man zu der sogenannten Serienparallelwicklung greifen müssen. Bei dieser Art der Wicklung ist  $p > a > 2$ ; nehmen wir als Beispiel wieder eine 12polige Maschine, die also 12 Ankerstromzweige besitzt, so wären bei reiner Parallelschaltung alle 12 Ankerstromzweige parallel geschaltet. Bei einer Serienparallelwicklung können nun entweder je 3 Ankerstromzweige in Serie und die 4 Gruppen

dann parallel geschaltet sein (siehe Fig. 5), oder es können je 2 Ankerstromzweige in Serie und die sich

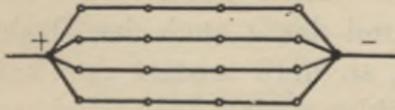


Fig. 5. Schema einer Serienparallelwicklung.

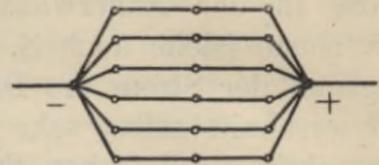


Fig. 6. Schema einer Serienparallelwicklung.

so ergebenden Gruppen parallel geschaltet sein (siehe Fig. 6). Offenbar ist hier wieder

$$E = \frac{p}{a} \frac{n}{60} \Phi Z_1 10^{-8} \text{ Volt}$$

und

$$i = \frac{J}{2a}.$$

Es ist somit bei der Wicklung nach Figur 5  $i = 90$  Ampere, bei der nach Figur 6  $i = 60$  Ampere. Durch Änderung der Wicklung läßt sich daher bei dieser Maschine  $i = 30, 60, 90$  und  $180$  Ampere machen. Man wird somit je nach der Größe, Polzahl und Art der beabsichtigten Ausführung die eine oder andere Wicklungsart wählen müssen.

Aber noch andere Punkte sind bei der Wahl der Ankerwicklung zu berücksichtigen. Es soll nämlich aus Gründen einer funkenfreien Kommutierung die zwischen zwei Kommutatorlamellen bestehende Potentialdifferenz einen gewissen Wert nicht überschreiten (bei kleinen Maschinen bis  $35$ , bei größeren bis  $25$  Volt). Nun ist die zwischen zwei Kommutatorlamellen auftretende Potentialdifferenz

$$(20) \quad \varepsilon = \frac{p}{a} e,$$

wobei  $e$  die in einer Ankerspule induzierte E. M. K. bedeutet. Bei konstanter Polzahl wird somit die Potentialdifferenz zwischen zwei Kommutatorlamellen um so geringer, je größer  $\alpha$ , also je größer die Zahl der parallelen Stromzweige ist, somit bei Parallelschaltung am geringsten. Bei der Wahl der Ankerwicklung wird man somit auch  $\varepsilon$  berücksichtigen müssen.

## Tourenzahl.

Die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers, die, wie bereits erwähnt, vor allem durch mechanische Rücksichten begrenzt ist, beträgt bei normalen Maschinen mit Riemenbetrieb meist 10—16 m pro Sekunde; bei sorgfältiger Konstruktion des Ankers kann man bis 25 und 30 m pro Sekunde gehen; in Ausnahmefällen, insbesondere bei Turbinendynamos, ist man gezwungen, auch bis zu 50 m/sec zu gehen, obwohl hier die Kommutierung bereits Schwierigkeiten macht, die gewöhnlich durch Anbringung besonderer Kommutierungspole überwunden werden.

Ist die Tourenzahl einer Maschine gegeben, so läßt sich bei Berechnung der Ankerdimensionen auch so verfahren, daß man

$$(21) \quad \frac{D \pi n}{60} = v$$

setzt. Man wählt dann  $v$  je nach Konstruktion des Ankers; setzt man in Formel (19) den Wert für  $D$  bzw.  $D^2$  ein, so erhält man direkt die Länge des Ankers  $l$ .

Dieser Weg der Berechnung von  $D$  bzw.  $l$  ist jedoch nicht der gebräuchlichste, da der maximale Ankerdurchmesser nicht immer die günstigsten Abmessungen der Maschine ergibt.

In solchen Fällen, in denen die Maschine mit einer anderen Maschine (Dampfmaschine, Gasmaschine, Turbine usw.) direkt gekuppelt ist, ist natürlich die Tourenzahl der Dynamomaschine von vornherein gegeben.

Andernfalls muß sie erst gewählt werden. Es sind dann mancherlei Faktoren, wie z. B. die Riemen- geschwindigkeit, von Einfluß auf die Wahl der Tourenzahl. Es haben sich jedoch im Laufe der Zeit bei den verschiedenen Elektrizitätsfirmen Normalien für die Tourenzahlen kleinerer und mittlerer Gleichstrom- maschinen herausgebildet, die auch unter sich nicht viel voneinander abweichen. Die folgenden Tabellen geben Mittelwerte der Normaltourszahlen von Maschinen verschiedener Firmen.

Tabelle I.  
Generatoren.

| Leistung KW. | Tourenzahl |
|--------------|------------|
| 1            | 2000       |
| 2,5          | 1750       |
| 5            | 1600       |
| 10,0         | 1400       |
| 15           | 1200       |
| 20           | 1100       |
| 30           | 950        |
| 50           | 700        |
| 100          | 500        |
| 200          | 375        |

Tabèlle II.  
Motoren.

| Leistung PS. | Tourenzahl |
|--------------|------------|
| 1            | 1700       |
| 2            | 1600       |
| 3            | 1450       |
| 5            | 1300       |
| 7            | 1200       |
| 10           | 1100       |
| 15           | 1000       |
| 25           | 900        |

### Polzahl.

Die richtige Wahl der Polzahl ist von großem Ein- flusse auf die Güte einer Gleichstrommaschine; sie wird bestimmt durch die Leistung, Umdrehungszahl, Art der Wicklung und Stromstärke der Maschine.

Wie wir später sehen werden, ist es mit Rücksicht auf eine funkenfreie Kommutierung nur schwer möglich, Maschinen von großer Leistung noch zweipolig zu bauen. Deshalb wird man bei größeren Leistungen um so eher zu mehrpoligen Ausführungen übergehen, als das Gewicht einer Maschine, wie sich leicht zeigen läßt, um so geringer wird, je größer ihre Polzahl ist.

Auch andere Gründe sprechen für die Vergrößerung der Polzahl bei zunehmender Leistung. Je größer nämlich bei einer gewissen Leistung die Polzahl, desto größer muß auch der Ankerdurchmesser, und desto kleiner die Ankerlänge ausfallen. Nun soll, wie bereits erwähnt, der Anker mit Rücksicht auf die Funkenbildung eine gewisse Länge nicht überschreiten; daraus folgt, daß wir die Polzahl entsprechend vergrößern müssen, um bei großen Leistungen nicht über eine gewisse Ankerlänge hinaus zu kommen.

Andererseits ist zu bedenken, daß die Größe der zwischen zwei Kommutatorlamellen auftretenden Potentialdifferenz bei gegebener Ankerwicklung der Polzahl proportional ist. Es ist nämlich

$$(22) \quad \varepsilon = \frac{p}{a} e .$$

Man darf mit der Polzahl natürlich nur so weit gehen, als es mit Rücksicht auf  $\varepsilon$  zulässig ist. Eventuell kann man sich auch durch Vergrößerung von  $a$  helfen. Aus der vorangeführten Formel folgt auch direkt, daß man Maschinen für kleinere Spannung mit größerer Polzahl bauen kann, als Maschinen mit hoher Spannung.

Auch mit Rücksicht auf den mechanischen Aufbau der Maschine kann man mit der Polzahl nicht zu weit hinaufgehen. Bei zu großer Polzahl wird nämlich die

Maschine sehr groß im Durchmesser und sehr schmal; eine solche Maschine hat nicht genügend Steifigkeit, muß daher erst künstlich versteift werden.

Endlich ist auch zu berücksichtigen, daß die im Ankereisen und in der Ankerwicklung auftretenden Hysteresis- und Wirbelstromverluste mit der Periodenzahl bzw. deren Quadrat wachsen. Die Polzahl soll daher womöglich so gewählt werden, daß die Periodenzahl per Sekunde

$$(23) \quad \frac{p n}{60} < 30 .$$

#### Ankerlänge.

Von Einfluß auf das Arbeiten, sowie den Entwurf einer Maschine ist auch die richtige Wahl der Ankerlänge  $l$  und des Verhältnisses von Ankerlänge zu Polschuhbreite  $b_i$ . Wie bereits mehrfach erwähnt, soll  $l$  nicht mehr als ca. 35—40 cm betragen. Selbstverständlich wird man bei Maschinen mit sehr hoher Tourenzahl den Ankerdurchmesser verhältnismäßig nur klein machen dürfen, um die zulässige Umfangsgeschwindigkeit nicht zu überschreiten. Bei solchen Maschinen kann eine Erhöhung der Leistung nur durch Verlängerung des Ankers erzielt werden;  $l$  wird daher oft 35—40 cm überschreiten müssen. Andererseits wird bei Maschinen, deren Ankerdurchmesser im Verhältnis zu ihrer Leistung groß ist, (z. B. bei Schwungradmaschinen) der Anker oft kürzer sein als 35 cm.

Was das Verhältnis von Ankerlänge zu Polschuhbreite betrifft, so schwankt dasselbe bei normalen Maschinen gewöhnlich zwischen 0,7—1,2. Auch dieses Verhältnis ist je nach der besonderen Art einer Maschine Veränderungen unterworfen; so werden bei langen Ankern

diese Werte meist überschritten, bei Maschinen mit sehr großem Ankerdurchmesser meist nicht erreicht werden.

Wählt man bei kleineren Maschinen  $t = \frac{D \pi}{2 p}$   
 = ca. 15—30 cm, bei größeren 30—70 cm, so wird dies für die ersten Rechnungen meist günstige Verhältnisse ergeben.

Im übrigen hängt die Wahl von  $l$  und des Verhältnisses von  $l:b$  mit der Bestimmung der Polzahl zusammen, worauf wir noch zurückkommen werden.

### Berechnung des Ankerdurchmessers und der Ankerlänge.

Die Berechnung der Hauptdimensionen des Ankers geschieht nach der Formel (19)

$$D^2 l = \frac{E J \cdot 6 \cdot 10^8}{n \alpha B_l A S}.$$

Hierbei ist für  $EJ$  bei Dynamos die abgegebene, bei Motoren die aufgenommene Energie in Watt einzusetzen; man erhält dann  $D$  und  $l$  in Zentimeter. Bei der Wahl der Tourenzahl sind die auf S. 21 gegebenen Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Das Verhältnis  $\alpha = \frac{b_l}{t}$  soll bei zweipoligen Maschinen ca. 0,6—0,7, bei mehrpoligen Maschinen ca. 0,65—0,8 betragen. Je größer  $\alpha$  gemacht wird, desto größer wird bei gleichem  $B_l$  die Gesamtzahl der Kraftlinien  $\Phi$  werden, desto besser ist somit der Ankerumfang ausgenützt, desto schlechter aber werden die Kommutationsbedingungen.

Die Induktion  $B_l$  ist, wie bereits auf S. 11 bemerkt wurde, von dem Maximum der Polinduktion abhängig.

Die gebräuchlichsten Werte sind 5000—6000 bei kleineren und 7000—9000 bei größeren Maschinen.

Was den numerischen Wert von  $AS$  betrifft, so sei hier nur erwähnt, daß man bei guten, modernen Maschinen gewöhnlich  $AS < 250—300$  macht. Die Größe von  $AS$  ist von Einfluß sowohl auf die Funkenbildung, als auch auf die Erwärmung und den Nutzeffekt einer Maschine. Letzteres geht aus dem, was bereits über den Einfluß von  $C$ , bzw.  $C_1$  (siehe S. 12) gesagt wurde, direkt hervor.

Eine ausführlichere Besprechung des Einflusses von  $AS$  auf die Größe der Maschine, sowie auf die Funkenbildung ist außerhalb des Rahmens dieses Werkes gelegen.

Durch Einsetzen der bezüglichen Werte für  $\alpha$ ,  $B_l$  und  $AS$  in Formel (19) erhält man den numerischen Wert für  $D^2 l$ ; behufs Bestimmung von  $D$  kann man so verfahren, daß man eine gewisse Umfangsgeschwindigkeit  $v$  für den Anker festsetzt. Es ist dann

$$v = \frac{D \pi n}{60}$$

und

$$D = \frac{60 v}{\pi n}.$$

Auf diese Weise erhält man dann die Dimensionen des Ankers.

Der gebräuchlichere Weg ist jedoch folgender: Man nimmt einen passenden Wert für  $l$  an und berechnet daraus  $D$ . Aus der bereits gewählten Polzahl berechnet man die Polteilung  $t$ . Diese ist annähernd

$$t = \frac{D \pi}{2 p}.$$

Aus  $t$  und dem bereits gewählten  $\alpha$  ergibt sich die Polschuhbreite

$$b_i = t \alpha .$$

Hierauf bestimmt man das Verhältnis  $\frac{l}{b_i}$ , und aus der ebenfalls bereits gewählten Wicklungsart ergibt sich dann

$$i = \frac{J}{2 a} .$$

Ergeben alle diese Verhältnisse passende Werte, so kann man es bei den angenommenen Werten von  $l$ , bzw.  $D$  belassen. Dies wäre jedoch nur ein Zufall. Gewöhnlich wird die ursprüngliche Annahme nicht gleich die günstigsten Werte ergeben. Dann muß  $l$  so lange geändert werden, bis dies der Fall ist.

Unter Umständen ist es nicht nötig, die Berechnung von  $D$  und  $l$  besonders durchzuführen, sondern man kann diese Daten einfach einer bereits ausgeführten Maschine bewährter Konstruktion entnehmen. Insbesondere empfiehlt sich dieser Vorgang in solchen Fällen, in denen es sich um völlig normale Maschinen handelt.

Hat man nunmehr auf die eine oder andere Weise die Hauptdimensionen des Ankers bestimmt, so ist der nächste Schritt die Berechnung der eigentlichen Ankerwicklung und bei Nutenankern noch die Berechnung der Nutendimensionen.

### Berechnung der Ankerwicklung.

In der zur Berechnung der Ankerdimensionen abgeleiteten Formel ist die Zahl der Ankerleiter  $Z_1$  bereits

enthalten. Wir haben bei der Festlegung des Begriffes des Stromvolumens  $AS$  gesagt, daß

$$AS = \frac{Z_1 \cdot J}{D \pi \cdot 2 a}.$$

Daraus folgt direkt, daß

$$(24) \quad Z_1 = \frac{AS \cdot D \pi \cdot 2 a}{J}.$$

Da bereits bei der Bestimmung der Ankerdimensionen die Größe von  $AS$  und die Art der Wicklung festgelegt werden mußten, ist nur noch  $J$ , d. i. die Ankerstromstärke, zu bestimmen. Es ist bei Stromerzeugern:

Ankerstrom = dem Strome im äußeren Stromkreise  
+ Magnetstrom,

bei Motoren:

Ankerstrom = Strom im äußeren Stromkreise — Magnetstrom.

Bei Serienmotoren und Seriengeneratoren ist natürlich der Ankerstrom mit dem Hauptstrom identisch.

Hat man auf diese Weise die Stabzahl bestimmt, so handelt es sich zunächst darum, zu ermitteln, ob diese Stabzahl auch allen Bedingungen entspricht, nämlich ob

1. die Stromstärke pro Draht nicht zu klein oder zu groß ist,

2. ob die zwischen zwei Kommutatorlamellen bestehende Potentialdifferenz den mit Rücksicht auf die Funkenbildung begrenzten Wert von 25—30 Volt nicht überschreitet (die Zahl der Kommutatorlamellen ist nämlich durch die Zahl der Ankerdrähte und die Art der Ankerwicklung bestimmt),

3. ob die berechnete Anzahl von Drähten am Ankerumfange untergebracht werden kann.

Schließlich läßt sich an Hand der berechneten Drahtzahl und der Drahtdimensionen auch die Größe der Nuten bestimmen.

ad 1. Aus der berechneten Drahtzahl erkennt man, ob der Anker vorteilhaft mit Draht- oder Stabwicklung ausgeführt werden kann. Für die Ausführung der letzteren ist es notwendig, daß die Stromstärke per Draht mindestens ca. 6 Ampere betrage. Ergibt sich ein geringerer Strom, und will man trotzdem Stabwicklung verwenden, so muß entweder  $a$ , d. h. die Art der Wicklung, oder, wo dies nicht mehr möglich ist, die Polzahl geändert werden.

ad 2. Bezeichnet man die Anzahl der Kommutatorlamellen mit  $k$ , so ist die zwischen zwei Kommutatorlamellen auftretende maximale Spannung

$$(25) \quad \varepsilon = \frac{3 m \cdot E \cdot a}{k},$$

wobei  $m$  die zwischen zwei Kommutatorlamellen befindliche Anzahl von Ankerspulen bedeutet. Es soll nun, wie bereits mehrfach erwähnt,  $\varepsilon$  womöglich kleiner sein als 20 Volt, keinesfalls jedoch 35 Volt überschreiten. Selbst dieser Wert ist nur bei kleinen Maschinen zulässig.

Bei Stabankern und den gebräuchlichsten Wicklungen ist

$$k = \frac{Z_1}{2},$$

während bei Drahtankern  $Z_1$  gewöhnlich ein Vielfaches von  $k$  ist.

Mit bezug auf die Unterbringung der Ankerdrähte in Nuten sei bemerkt, daß bei Stabankern meist zwei oder mehrere Drähte pro Nut untergebracht sind. Letzteres ist mit Rücksicht auf eine funkenfreie Kommen- tierung von Vorteil. Andererseits ist jedoch zu be- achten, daß aus den gleichen Gründen das Stromvolumen einer Nut, d. i. das Produkt der Drahtzahl pro Nut und der Stromstärke pro Draht ca. 1000 nicht über- schreiten soll. Es läßt sich somit aus dem bekannten  $i$  die Zahl der pro Nut maximal zulässigen Stäbe er- mitteln.

Bei Drahtwicklungen ist die Zahl der Ankerdrähte gewöhnlich ein Vielfaches von  $k$ . Zur Ermittlung eines günstigen Wertes von  $k$  kann man sich der folgenden Formel bedienen:

$$(26) \quad k \geq \frac{Z_1 \sqrt{i}}{25} .$$

Selbstverständlich ist dann noch zu kontrollieren, ob  $\varepsilon$  nicht zu groß wird.

Schließlich muß man auch noch kontrollieren, ob mit der berechneten Drahtzahl die beabsichtigte Wick- lung ausgeführt werden kann. Sollte dies nicht der Fall sein, so muß natürlich  $Z_1$  der Wicklung entsprechend abgeändert werden.

Die Berechnung des Drahtquerschnittes kann auf verschiedene Weise erfolgen. Ist z. B. ein bestimmter Wirkungsgrad der Maschine, somit auch ein bestimmter Verlust in der Ankerwicklung vorgeschrieben, so läßt sich aus diesem Verluste der maximal zulässige Ohm- sche Widerstand der Ankerwicklung berechnen. Be-

zeichnet man den zulässigen Verlust in der Ankerwicklung mit  $V_a$ , so ist

$$V_a = J^2 W_a,$$

wobei  $W_a$  den Gesamtwiderstand der Ankerwicklung bedeutet, und daraus

$$(27) \quad W_a = \frac{V_a}{J^2} = \frac{V_a}{4 a^2 i^2}.$$

Bezeichnet man den Widerstand aller Ankerstromzweige in Hintereinanderschaltung mit  $w_s$ , so ist

$$w_s = 4 a^2 W_a,$$

daher

$$w_s = \frac{V_a}{i^2}.$$

Nun ist

$$w_s = \frac{l_z}{48 q},$$

wobei  $l_z$  die Gesamtlänge des am Anker aufgebrauchten Drahtes bedeutet; diese kann aus der Anzahl der Drähte und der mittleren Länge eines Drahtes samt zugehöriger Stirnverbindung leicht berechnet werden. Durch Einsetzen von  $\frac{1}{48}$  für den spezifischen Widerstand des Kupfers ist bereits die Erwärmung der Ankerwicklung berücksichtigt worden.

Es ist schließlich

$$\frac{V_a}{i^2} = \frac{l_z}{48 q}.$$

Daraus erhält man den erforderlichen Drahtquerschnitt

$$(28) \quad q = \frac{l_z i^2}{48 V_a}.$$

Setzt man  $l_z$  in  $m$  ein, so erhält man  $q$  in Quadratmillimetern.

Meist ist jedoch der Ankerverlust nicht gegeben; man muß dann von einer gewissen spezifischen Stromstärke ausgehen. Bezeichnet man letztere mit  $i_1$ , so ist

$$i_1 = \frac{i}{q},$$

oder

$$q = \frac{i}{i_1}.$$

Der zulässige Wert von  $i_1$  schwankt innerhalb weiter Grenzen. Je größer  $i_1$  ist, desto größer wird der Ohmsche Verlust und die Erwärmung des Ankers, desto kleiner jedoch der Drahtquerschnitt. Der zulässige Wert von  $i_1$  hängt nicht nur von der Art der Wicklung (ob glatter oder Nutenanker) ab, sondern auch vom Drahtquerschnitt; bekanntlich ist ja die ausstrahlende Oberfläche eines Drahtes im Verhältnis zum Querschnitt um so geringer, je größer der Drahtquerschnitt ist. Während man daher bei Drähten bis zu 1 oder  $1\frac{1}{2}$  mm<sup>2</sup> Querschnitt noch eine spezifische Stromstärke von ca. 5—6 Ampere per Quadratmillimeter zulassen kann, darf dieselbe bei Drähten oder Stäben von 50 bis 60 mm<sup>2</sup> kaum mehr 3— $3\frac{1}{2}$ , bei solchen von 100 bis 120 mm<sup>2</sup> Querschnitt aber nicht mehr als 2— $2\frac{1}{2}$  Ampere betragen, wenn die Erwärmung der Ankerwicklung keine übermäßige sein soll.

Auf die Erwärmung des Ankers kommen wir noch zurück.

Ist nun auf die eine oder andere Weise der Draht- oder Stabquerschnitt ermittelt worden, so muß bei

glatten Ankern noch kontrolliert werden, ob die Drähte am Ankerumfang passend untergebracht werden können, bzw. ob sich zulässige Drahtformen ergeben. Aus dem Ankerumfang und der Anzahl der Drähte ergibt sich unter Berücksichtigung einer entsprechenden Drahtisolation die Breite der Drähte; aus dieser, sowie dem berechneten Drahtquerschnitte läßt sich dann die Drahthöhe bzw. die zweite Querschnittsdimension berechnen. Womöglich sollen die Dimensionen des Querschnittes des Drahtes in einem Verhältnisse zueinander stehen, das 1:2 nicht überschreitet.

Bei Nutenankern müssen aus der Anzahl der pro Nut unterzubringenden Drähte und dem Querschnitte der letzteren die Nutendimensionen bestimmt werden. Über die Anordnung der Drähte in den Nuten, sowie die Isolation der letzteren finden sich ausführlichere Angaben auf S. 82. Hat man die Dimensionen der Nuten, sowie ihre Anzahl bestimmt, so muß noch kontrolliert werden, ob

1. die Zähne mechanisch genügend fest sind,
2. die maximale Induktion am Grunde der Zähne nicht zu hoch, und
3. der in den Zähnen auftretende Wirbelstromverlust nicht zu groß ist.

Von der Erfüllung der ersten Bedingung wird man sich einfach dadurch überzeugen, daß man einen Teil des Ankerumfangs mit den Nuten in natürlicher Größe aufzeichnet. Wenn möglich, soll die Stärke der Zacken am Grunde der Nuten nicht weniger als ca. 3—4 mm betragen, damit sie die erforderliche mechanische Festigkeit besitzen.

Die Induktion am Grunde der Nuten hängt von der Induktion im Luftzwischenraume  $B_l$  und den Nutendimensionen ab. Bezeichnet man mit

$B_z \max$  die maximale theoretische Induktion am Grunde  
der Nuten,

$t_1$  und  $t_2$  die bezüglichen Nutenteilungen,

$b_z$  die Breite und

$l_z$  die Tiefe der Nuten (siehe Fig. 7),

und nimmt man an, daß sämtliche Kraftlinien durch  
den Grund der Zähne gehen, so ist

$$(29) \quad B_z \max = B_l \frac{t_1}{t_2 - b_z}.$$

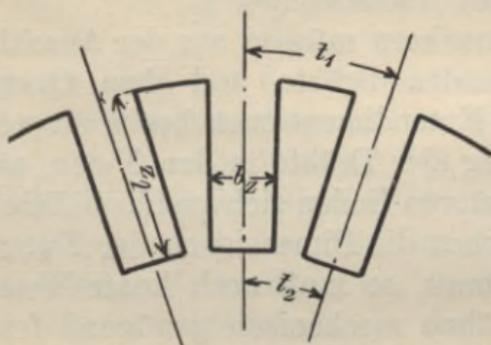


Fig. 7.

Ist  $k_1$  die Anzahl der Nuten, so ist

$$t_1 = \frac{D \pi}{k_1},$$

$$t_2 = \frac{(D - 2 l_z) \pi}{k_1};$$

daher

$$(30) \quad B_z \max = B_l \frac{D \pi}{(D - 2 l_z) \pi - b_z k_1}.$$

Wie vorhin schon erwähnt, darf die maximale Zacken-  
induktion  $B_z \max$  einen gewissen Wert nicht über-

schreiten, weil sonst die magnetischen Verluste und die für die Zacken benötigten Amperewindungen zu groß würden, und damit auch das Gewicht des Erregerkupfers übermäßig ansteigen würde. Wie bei der Berechnung der Erregeramperewindungen gezeigt werden wird, ist die am Grunde der Nuten tatsächlich existierende Induktion kleiner als die vorher berechnete. Die oberste Grenze für die nach vorangeführter Formel berechnete Zackeninduktion liegt bei ca. 22 000, und nur in besonderen Fällen, in denen auf kleine Dimensionen der Maschine großer Wert gelegt wird, kann man bis auf 27 000—28 000 gehen.

Da die Wirbelstromverluste dem Quadrate der Induktion proportional sind, so wird man es auch aus diesem Grunde vermeiden, die Zackeninduktion übermäßig groß werden zu lassen. Überdies ist eine weitere Folge der Verluste durch Wirbelstrom eine Erhitzung der Zacken.

Hat man nun unter steter Kontrolle eventuell entsprechender Abänderung der früher ermittelten Werte die äußeren Dimensionen des Ankerkörpers, sowie die Ankerwicklung berechnet, so ist das nächste die Berechnung des inneren Ankerdurchmessers.

### **Berechnung des inneren Ankerdurchmessers.**

Durch die Größe des inneren Ankerdurchmessers  $D_i$  ist offenbar der Querschnitt des Ankereisens und damit auch die Induktion im Ankereisen  $B_a$  bestimmt. Je kleiner der innere Durchmesser bei konstantem äußeren Ankerdurchmesser gemacht wird, desto größer wird der Querschnitt des Ankereisens, desto kleiner wird daher die Induktion  $B_a$ , desto geringer werden also schließlich

die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme ausfallen; die letzteren sind nämlich der 1,6. Potenz bzw. dem Quadrate der Induktion proportional. Andererseits bedingt der größere Querschnitt des Ankereisens auch ein größeres Gewicht. Es folgt daraus, daß das Gewicht, somit auch die Kosten des Ankers um so größer sein werden, je geringer die Verluste, je besser also die Maschine sein soll. Bei Bestimmung von  $D_i$  muß man trachten, bei geringem Materialaufwand die Verluste im Ankereisen möglichst zu verringern. Da die Anker-eisenverluste aber auch von der Periodenzahl der Maschine abhängen, so wird man, ganz allgemein gesprochen, die Ankerinduktion um so höher wählen dürfen, je geringer die Periodenzahl ist. Für die erste Bestimmung von  $D_i$  empfiehlt es sich, für  $B_a$  folgende Werte anzunehmen:

| Periodenzahl | $B_a$      |
|--------------|------------|
| ca. 10       | ca. 13 000 |
| „ 25         | „ 10 000   |
| „ 50         | „ 7 000    |

Aus diesen Werten, sowie dem äußeren Ankerdurchmesser und der Ankerlänge läßt sich der innere Ankerdurchmesser berechnen. Es ist

$$(31) \quad B_a = \frac{\Phi}{(D - D_i) l \beta},$$

worin  $\beta$  das Verhältnis der wirklichen Eisenlänge  $l_1$  zur Gesamtlänge des Ankers  $l$  bedeutet. Die Differenz  $l - l_1$  entspricht der von den Ventilationskanälen und der Papierisolation zwischen den Blechen eingenommenen Länge.

Aus (31) ergibt sich

$$(32) \quad D_i = D - \frac{\Phi}{B_a l \beta}.$$

Das Verhältnis  $\beta = \frac{l_1}{l}$  ist bei Maschinen ohne Ventilationskanälen im Anker meist ca. 0,83—0,9.

Was die Wahl der Blechstärke und der Stärke der isolierenden Papierzwischenlage betrifft, so ist zu bedenken, daß der Wirbelstromverlust im Ankereisen dem Quadrate der Blechstärke proportional ist. Bei den gebräuchlichen Periodenzahlen (bis ca. 35) wird gewöhnlich eine Blechstärke von 0,5 gewählt, während bei abnormal hohen Periodenzahlen wenn möglich dünnere Bleche zur Verwendung kommen sollen.

Die Stärke des zu verwendenden Papiers beträgt gewöhnlich 0,05 mm, in besonderen Fällen wird jedoch auch schwächeres Papier gewählt.

### Berechnung der Kommutator- und Bürstendimensionen.

Der Durchmesser des Kommutators hängt bei gegebener Lamellenzahl von der Breite der einzelnen Lamellen  $b_l$  ab.  $b_l$  soll bei normalen Ausführungen den Wert von ca. 3 mm nicht unterschreiten, während als Maximum der Wert von 10—14 mm angenommen werden kann. Nimmt man ferner die Stärke der Glimmerisolation zwischen den Kommutatorlamellen mit 0,8 mm an, was für Maschinen mit  $\varepsilon$  bis 20 Volt genügend ist, so ist der maximal zulässige Kommutatordurchmesser

$$(33) \quad D_{k \max} = \frac{14,8 \times k}{\pi}$$

und der minimal zulässige Kommutatordurchmesser

$$(34) \quad D_{k \min} = \frac{3,8 \times k}{\pi}.$$

Man hat nun einen zwischen  $D_{k \max}$  und  $D_{k \min}$  gelegenen, der Konstruktion des Kommutators entsprechenden Wert zu wählen.  $D_k$  muß selbstverständlich kleiner sein als  $D$ ; sollte sich aus der Rechnung  $D_{k \min} > D$  ergeben, so muß  $k$  eventuell auch damit  $k_1$  geändert werden. Sollte andererseits  $D_{k \max}$  einen aus konstruktiven Rücksichten unausführbar kleinen Wert ergeben, so wird man gezwungen sein,  $b_l$  größer zu machen. Dies kommt häufig bei Maschinen für geringe Spannung und hohe Stromstärke (für galvanoplastische Zwecke) vor. Man macht  $b_l$  dann bis 30 und 40 mm; um aber großen Wirbelstromverlusten in den massiven Kupferlamellen vorzubeugen, teilt man dieselben durch Glimmerisolation; die Lamellen werden durch den Ankerdraht untereinander verbunden.

Die Breite des Kommutators —  $b_k$  — hängt von der Ankerstromstärke und den Dimensionen der Bürste ab. Es ist daher nötig, die Bürstendimensionen zuerst zu ermitteln.

Als Material für die Bürsten kommt Metall (Kupfer, Messing) oder Kohle in Betracht.

Metallbürsten sollen so stark sein, daß sie an der Auflagefläche mindestens eine Lamelle, besser aber noch zwei Lamellen bedecken. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß infolge der geneigten Lage der Metallbürsten die Breite der Auflagefläche ungefähr der  $1\frac{1}{2}$ -fachen Stärke der Bürste gleich ist. Die Belastung der Bürste, d. i. die Stromstärke pro Quadratcentimeter des Querschnittes, hängt von der Qualität ab; im Mittel kann man ca. 30 Ampere pro Quadratcentimeter rechnen. Daraus, sowie aus der durch die Lamellenbreite gegebenen Stärke der Bürste läßt sich ihre Breite bestimmen. Zu bemerken ist noch, daß der von einer Bürste abge-

nommene oder zugeführte Strom ca. 100 Ampere nicht überschreiten soll.

Kohlenbürsten sollen 2—3 Kommutatorlamellen bedecken. Die Belastung von Kohlenbürsten schwankt, der jeweiligen Qualität entsprechend, innerhalb sehr weiter Grenzen. Je nach Qualität kann man ca. 5 bis 15 Ampere pro Quadratcentimeter rechnen.

Bezeichnet man die Anzahl von Bürstenstiften mit  $u$ , so ist die pro Bürstenstift abzunehmende Stromstärke

$$(35) \quad i_2 = \frac{2J}{u}.$$

Aus  $i_2$  und der Stromstärke pro Bürste läßt sich die Anzahl der Bürsten pro Stift und daraus die erforderliche Länge des Kommutators berechnen. Hierbei ist noch darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Breite der Bürstenhalter die der Bürsten je nach der Art der Konstruktion um ca. 5—15 mm übersteigt, und überdies noch an jeder Seite der Bürsten einige Millimeter freibleiben sollen.

### Berechnung des Magnetgestelles.

Nach Berechnung der Dimensionen des Ankers und Kommutators, sowie der Ankerwicklung kann man nunmehr zur Berechnung des Magnetgestelles schreiten.

Bekannt sind die Dimensionen des Ankers, die Polzahl sowie der Polschuhwinkel  $\alpha$ ; der Luftspalt  $\delta$  muß vorläufig geschätzt werden. Es ergibt sich dann die Polschuhbohrung

$$D_p = D + 2\delta.$$

Aus  $D_p$ ,  $\alpha$  und  $l$  läßt sich nunmehr die Fläche des Polschuhes  $Q_{ps}$  genau bestimmen. Es ist

$$(36) \quad Q_{ps} = \frac{D_p \cdot \pi}{2p} \alpha l.$$

Nunmehr muß auch  $\Phi$  genau ermittelt werden. Aus Formel (13) ergibt sich

$$\Phi = \frac{60 \cdot E \cdot 10^8 a}{Z_1 n p}.$$

Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß  $E$  die EMK bedeutet. Da nur die Klemmenspannung  $E_k$  gegeben ist, muß die erstere aus der letzteren berechnet werden. Bezeichnet man den Gesamtspannungsabfall im Anker bei normaler Belastung mit  $e_1$ , so ist

$$(37) \quad E_k = E \pm e_1,$$

wobei das positive Vorzeichen für Motoren, das negative für Stromerzeuger gilt.

Der Spannungsverlust im Anker setzt sich aus zwei Teilen zusammen, nämlich aus dem Ohmschen Spannungsabfall im Anker und dem an den Bürsten. Der Ankerwiderstand selbst läßt sich aus den gegebenen Dimensionen des Ankers und der Ankerwicklung leicht berechnen. Auch der Kontaktwiderstand zwischen Kommutator und Bürsten läßt sich berechnen. Ein Eingehen auf diese Rechnung würde hier jedoch zu weit führen. Annäherungsweise kann man bei Kupferbürsten und kleinen Maschinen den Kontaktwiderstand  $= 0,3 W_a$ , bei größeren Maschinen  $0,1—0,2 W_a$ , bei Kohlenbürsten und kleinen Maschinen ca.  $0,4 W_a$ , bei größeren Maschinen ca.  $0,3—0,25 W_a$  annehmen.

Es ist somit

$$(38) \quad e_1 = 1,1 W_a J - 1,4 W_a J.$$

Hat man nun den Kraftfluß  $\Phi$  bestimmt, so handelt es sich darum, den Kraftfluß  $\Phi$  in den Polen und dem Joche zu ermitteln. Es ist bekannt, daß ein Teil der

im Joche bzw. den Polen erzeugten Kraftlinien durch Streuung verloren geht, bzw. nicht in den Anker eintritt. Es muß daher der im Pole erzeugte Kraftfluß  $\Phi_1$  größer sein als der Kraftfluß im Luftzwischenraume. Das Verhältnis des ersteren zum letzteren bezeichnet man als Streukoeffizient  $\sigma$ . Es ist also

$$(39) \quad \frac{\Phi_1}{\Phi} = \sigma$$

und

$$\Phi_1 = \sigma \Phi .$$

Die Größe des Streukoeffizienten  $\sigma$  kann aus den Dimensionen der Maschine rechnerisch ermittelt werden; diese Rechnung ist jedoch sehr kompliziert. Einfacher ist es, für  $\sigma$  einen Erfahrungswert einzusetzen, bzw. ihn einer der vielen existierenden Tabellen zu entnehmen.  $\sigma$  hängt hauptsächlich von der Größe der Maschine, der Type des Magnetgestelles sowie auch dem Sättigungsgrade ab. Bei der zweipoligen Kapptype (siehe II. Teil, Fig. 38) schwankt  $\sigma$  von 1,5 bei einer Leistung von 1 KW bis 1,2 bei einer Leistung von 100 KW; bei der zweipoligen Lahmeyerschen Type (siehe II. Teil, Fig. 40) von 1,3 bei 1 KW-Leistung bis 1,1 bei 100 KW-Leistung, endlich bei der üblichen Ausführung von mehrpoligen Maschinen (siehe II. Teil, Fig. 42)  $\sigma$  von 1,4 bei ca. 5 KW-Leistung bis 1,15 bei ca. 1000 KW-Leistung.

Hat man den Kraftfluß  $\Phi_1$  in den Polen und dem Joche bestimmt, so ist weiter der Pol- bzw. Jochquerschnitt zu ermitteln. Bezeichnet man den Polquerschnitt mit  $Q_p$ , so ist die Induktion in den Polen

$$B_p = \frac{\Phi_1}{Q_p} .$$

Bei der Wahl von  $B_p$ , durch die auch  $Q_p$  bestimmt ist, ist folgendes zu berücksichtigen: Je größer  $B_p$  gewählt wird, desto kleiner wird (bei konstantem  $\Phi_1$ )  $Q_p$ , desto leichter wird somit das Magnetgestell. Andererseits aber ersehen wir aus der Magnetisierungskurve (Fig. 8 S. 44), daß über eine gewisse Grenze hinaus jede Erhöhung von  $B_p$  eine wesentliche Erhöhung der erregenden Amperewindungen, d. i. also eine Erhöhung des Erregerkupfers bedingt. Man wird daher die Induktion so wählen, daß die Gesamtkosten, nämlich die Summe der Kosten von Kupfer und Eisen, ein Minimum werden. Dies ist in der Regel der Fall, wenn eine Induktion gewählt wird, die etwas unterhalb des von der Magnetisierungskurve des betreffenden Materials gebildeten Knies liegt. Man wird demnach, je nachdem das Material der Pole bzw. des Joches Gußeisen, Schmiedeeisen oder Gußstahl ist, als Induktion ca. 6000 oder ca. 13000 wählen.

Als Material für das Joch kommt Gußeisen und Stahlguß in Betracht. Wie aus den Magnetisierungskurven dieser Materialien hervorgeht, ist bei den gebräuchlichen Induktionen die einer gewissen Amperewindungszahl entsprechende Induktion für Gußstahl ungefähr doppelt so groß als bei Gußeisen. Es folgt daraus, daß bei gegebenem Erregerkupfer das Stahlgußjoch nur halben Querschnitt und daher auch nur das halbe Gewicht eines entsprechenden Gußeisengestelles haben wird. Andererseits ist der Preis von Stahlguß nahezu doppelt so groß wie der von Gußeisen, so daß die Kosten in beiden Fällen die gleichen sind. Vom Kostenstandpunkte aus ist daher Gußeisen und Stahlguß gleichwertig; allerdings wird eine Gußeisenmaschine weit schwerer; dem steht jedoch gegenüber, daß aus

Fabrikationsrücksichten Gußeisen dem Stahlguß in vielen Fällen vorzuziehen ist.

Für die Pole kommt als Material Stahlguß oder Schmiedeeisen, neuerdings auch Eisenblech (lamellierte Pole) in Betracht. Gußeisen gelangt hier sehr selten zur Verwendung, da bei diesem der Polquerschnitt ungefähr doppelt so groß sein muß wie bei Stahlguß oder Schmiedeeisen. Infolgedessen müßte die mittlere Windungslänge der Magnetwicklung im gleichen Verhältnisse wachsen, so daß das Gewicht des Erregerkupfers bei gußeisernen Polen nahezu doppelt so groß wird als bei schmiedeeisernen oder solchen aus Stahlguß.

Besteht das Joch aus Stahlguß, so werden die Pole mit dem Joche gewöhnlich in einem Stücke gegossen. Besteht das Joch jedoch aus Gußeisen, so werden die Pole aus Schmiedeeisen hergestellt oder aus Eisenblech zusammengesetzt und mit dem Joche entsprechend verschraubt (siehe auch S. 90).

Nach Bestimmung des Pol- und Jochquerschnittes sind die bezüglichen Eisenlängen zu ermitteln. Man verfährt hierbei so, daß man zunächst einen gewissen Wickelraum für die Erregerwicklung annimmt, oder noch besser, ihn approximativ bestimmt. Die Wicklung muß dann derart angeordnet werden, daß bei mehrpoligen Maschinen genügend Raum zwischen den Magnetspulen verbleibt. Bezüglich der Querschnittsform der Erregerpulen ist zu bemerken, daß das Verhältnis von  $\frac{l}{h}$  nicht zu klein, keinesfalls jedoch kleiner sein soll als 1. Je größer das Verhältnis  $\frac{l}{h}$ , desto größer wird bei gleichem Querschnitt des Wickelraumes die Abkühlungsfläche,

desto geringer wird demnach die Erwärmung. Andererseits wird aber mit zunehmendem  $l$  auch die Pollänge größer und damit sowohl das Eisengestell schwerer, als auch die zur Erregung nötigen Amperewindungen größer.

Man wird daher das Verhältnis von  $\frac{l}{h}$  nur so groß machen, als es mit Rücksicht auf die Erwärmung nötig ist. Über die letztere siehe auch S. 77.

Sind nunmehr sämtliche Dimensionen der Maschine festgelegt, so sind an Hand einer maßstäblichen Skizze die zur Erregung der Maschine nötigen Amperewindungen und darnach die Erregerwicklung zu berechnen.

### Berechnung der Erregeramperewindungen und der Erregerwicklung.

Die zur Erzeugung einer gewissen Induktion  $B$  in einem magnetischen Kreise erforderliche magnetisierende

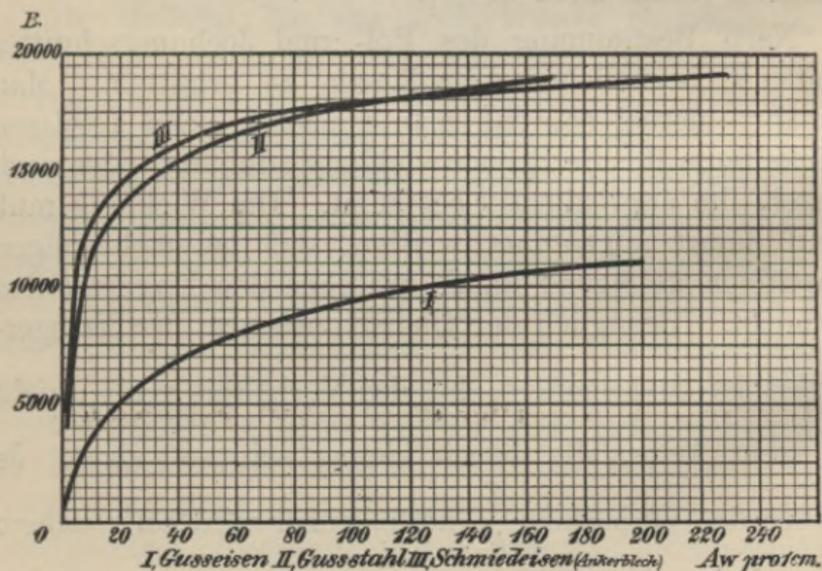


Fig. 8. Magnetisierungskurven.

Kraft bzw. Amperewindungszahl ist bekanntlich eine Funktion der Permeabilität des betreffenden Materials sowie seiner Länge. Da die Permeabilität wieder eine Funktion der Induktion ist, läßt sich die magnetisierende Kraft direkt als Funktion der Induktion darstellen. Für den praktischen Gebrauch sind jene Kurven am vorteilhaftesten, welche die pro Zentimeter Kraftlinienlänge benötigte Amperewindungszahl als Funktion der Induktion angibt. Solche Kurven sind für die drei Materialien (Gußeisen, Schmiedeeisen und Stahlguß) in Figur 8 dargestellt. Diese Kurven stellen Mittelwerte aus einer Anzahl verschiedener Qualitäten dar.

Mit Hilfe dieser Kurven lassen sich die für die einzelnen Teile des magnetischen Kreises benötigten Amperewindungszahlen leicht berechnen.

Vorteilhaft ist es, einen Teil der ganzen Maschine entweder in natürlicher Größe oder verkleinert, aber maßstäblich aufzuzeichnen, wie dies Figur 9 zeigt.

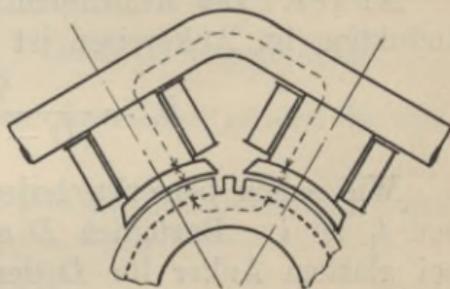


Fig. 9.

Aus dieser Figur ist ersichtlich, daß der magnetische Kreis aus fünf Teilen besteht, nämlich dem Kraftlinienweg im

1. Anker,
2. den Zacken,
3. dem Luftzwischenraum,
4. den Polen (inkl. Polschuhen),
5. dem Joch.

Man bestimmt nun aus dem Kraftflusse  $\Phi$  und dem Querschnitte  $Q$  die Induktion  $B$  in jedem dieser Teile,

wobei das später Gesagte noch zu berücksichtigen ist. Aus der betreffenden Kurve bestimmt man die Amperewindungszahl pro Zentimeter für die gefundene Induktion. Multipliziert man die so berechnete Amperewindungszahl mit der Länge des Kraftlinienweges, den man der maßstäblichen Zeichnung entnimmt, so erhält man die Amperewindungszahl für den betreffenden Teil. Die Addition der Amperewindungszahl der einzelnen Teile ergibt die Gesamtamperewindungszahl pro magnetischen Kreis. Diese muß dann noch halbiert werden, um die Amperewindungszahl pro Magnetspule zu erhalten.

Im folgenden sind jene Gesichtspunkte angegeben, die bei der Berechnung der bezüglichen Amperewindungen bzw. Induktionen zu berücksichtigen sind.

Anker. Der Kraftlinienfluß im Anker ist  $\Phi$ . Die Induktion im Ankereisen ist nach Formel (31)

$$B_a = \frac{\Phi}{(D - D_i) l \beta}.$$

Wie schon bemerkt, bedeutet hier  $\beta$  das Verhältnis von  $l_1$  zu  $l$ . Bezüglich  $D$  muß erwähnt werden, daß bei glattem Anker für  $D$  der äußere Durchmesser des Ankerkörpers einzusetzen ist, bei Nutenankern jedoch der Durchmesser des Grundkreises der Nuten. Die Länge des mittleren Kraftlinienweges kann hier nur geschätzt werden. Am einfachsten ist es, den Kraftlinienweg in natürlicher Größe einzuzeichnen und seine Länge direkt abzumessen.

Luftzwischenraum. Der Kraftlinienfluß im Luftzwischenraum ist ebenfalls  $\Phi$ . Die Induktion im Luftzwischenraum ergäbe sich daher aus der Formel

$$B_l = \frac{\Phi 2 p}{D_p \pi l \alpha}.$$

Diese Formel ergibt jedoch nicht den genauen Wert für die Luftinduktion, da sie zur Voraussetzung hat, daß die Kraftlinien im Luftzwischenraum in der in

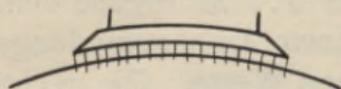


Fig. 10.

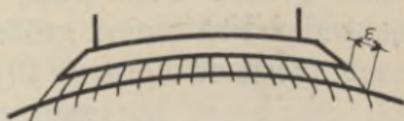


Fig. 11.

Figur 10 angedeuteten Weise verlaufen. Dies entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit, vielmehr verlaufen die Kraftlinien, wie in Figur 11 angedeutet.

Es ist demnach der Luftquerschnitt größer als  $\frac{D\pi}{2p} \alpha l$ . Annähernd kann man den Luftquerschnitt  $Q_l = \left( \frac{D\pi}{2p} \alpha + \delta \right) l$  setzen. Dabei ist angenommen, daß  $\varepsilon = \delta$  (siehe Fig. 11); diese Annahme genügt in den meisten Fällen der Praxis.

Man kann demnach mit genügender Genauigkeit annehmen, daß

$$B_l = \frac{\Phi}{Q_l},$$

wobei für  $Q_l$  der oben ermittelte Wert einzusetzen ist.

Bei glatten Ankern kann man demnach die Luftamperebindungsanzahl

$$(40) \quad A w_l = 0,8 B_l 2 \delta$$

setzen, wobei für  $\delta$  die einfache Länge des Luftzwischenraumes gilt. Für Nutenanker jedoch bedarf Formel (40) noch einer Korrektur. Betrachten wir nämlich den Kraftlinienverlauf im Luftzwischenraume

eines Nutenankers (siehe Fig. 12), so bemerken wir, daß sowohl die Verteilung der Kraftlinien über den Nuten eine ungleichmäßige ist, als auch daß die Länge eines großen Teiles der durch den Luftzwischenraum gehenden Kraftlinien größer ist als  $\delta$ . Es ergäbe demnach die nach Formel (40) berechnete Amperewindungs-

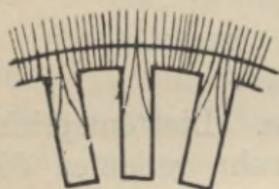


Fig. 12.  
Kraftlinienbild eines  
Nutenankers.

zahl zu geringe Werte. Die rechte Seite der Gleichung (40) ist daher mit einem Faktor  $k_l$  zu multiplizieren. Die Größe dieses Faktors hängt, wie leicht einzusehen ist, von der Größe des Luftraumes  $\delta$  sowie von der Breite und Tiefe der Nuten ab. Ist z. B. der Luftzwischenraum sehr klein und die Nuten weit und tief, so wird ein größerer Teil der Kraftlinien erst in die Seitenwände der Zacken eintreten, als wenn der Luftzwischenraum groß und die Nuten schmal und flach sind. In ersterem Falle wird daher auch  $k_l$  größer sein müssen als in letzterem Falle. Je nach Form und Größe der Nuten und der Größe des Luftzwischenraumes schwankt  $k_l$  zwischen 1,05 und 1,5, kann sogar in besonders ungünstigen Fällen den letzteren Wert überschreiten.

Somit lautet die vollständige Formel zur Berechnung der Luftamperewindungen

$$(41) \quad AW_l = 0,8 B_l 2 \delta k_l .$$

Zacken. Wiewohl der Kraftlinienweg in den Zacken relativ nur sehr klein ist, sind doch die Zackenamperewindungen bei modernen Maschinen nicht unbeträchtlich. Der Grund hierfür ist in den manchmal sehr hohen Zackeninduktionen zu suchen.

Wie auf S. 33 ausgeführt, herrscht die maximale scheinbare Induktion am Grunde der Zacken. Diese Induktion ist nach Formel (30)

$$B_{z \max} = B_l \frac{D \pi}{(D - 2 l_z) \pi - b_z k_1}.$$

Dieser Formel liegt die Annahme zugrunde, daß sämtliche Kraftlinien auch wirklich durch den Grund der Zacken gehen. Das ist natürlich nicht der Fall. Zwei Wege bieten sich den durch den Anker gehenden Kraftlinien: einer durch die Zacken, der andere durch die Nuten, also durch die Luft. Beide Wege sind parallel geschaltet, und für den magnetischen Kraftfluß gilt dasselbe Gesetz wie für elektrische Ströme. Die Kraftflüsse sind den magnetischen Widerständen umgekehrt proportional. Der magnetische Widerstand der Luft ist sehr groß und konstant, während der des Eisens bei kleineren Induktionen sehr gering ist und bei großen Induktionen rapid wächst. Es folgt daraus ohne weiteres, daß bei geringen Zackeninduktionen nahezu alle Kraftlinien durch die Zacken und nur ein sehr geringer Teil durch die Luft gehen wird; je größer die Zackeninduktion, desto größer wird auch die Luftstreuung werden. Die Zahl der durch die Luft gehenden Kraftlinien kann in besonders ungünstigen Fällen bis zu 20—40% des Kraftflusses betragen.

Bei der Berechnung der Zackenamperewindungen muß natürlich die wirkliche Induktion in Betracht gezogen werden. Die Bestimmung des Verhältnisses zwischen der ideellen und der wirklichen Induktion (das offenbar sowohl von den Nutendimensionen als auch von der Zackeninduktion abhängt) ist keineswegs einfach und soll hier nicht gezeigt, sondern es sollen

hier nur die Resultate dieser Rechnungen in Figur 13 gegeben werden. Dieselbe enthält drei Kurven. Für ein bestimmtes  $K$ , das von den Dimensionen der Nuten

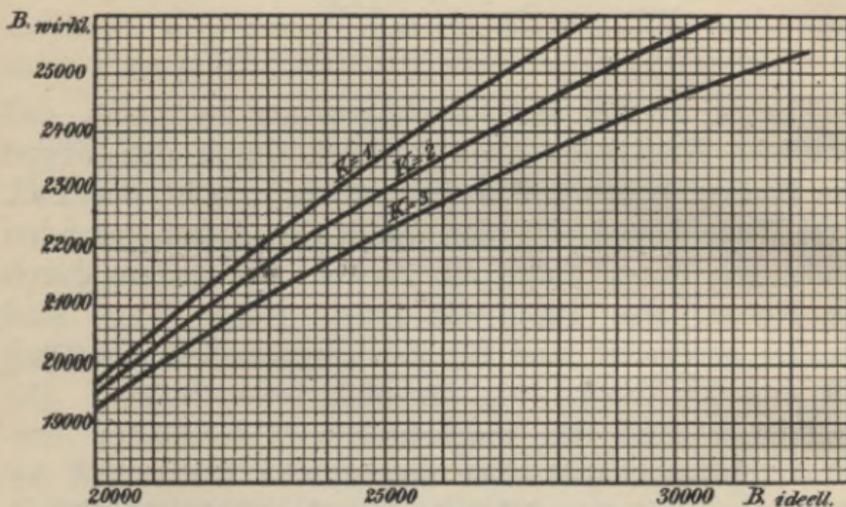


Fig. 13.

abhängt, kann man aus der betreffenden Kurve die wirkliche Induktion aus der ideellen ermitteln.

Die Konstante  $K$  kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$(42) \quad K = \frac{l \cdot t_b}{l_1 b_b} - 1,$$

wobei

$t_b =$  der Teilung,  $b_b =$  der Zahnbreite } an der betrachteten Stelle.

Mit Hilfe dieser Formel und den Kurven in Figur 13 kann man die wirkliche Zahninduktion an irgend einer beliebigen Stelle des Zahnes berechnen. Es ist dabei auch noch zu bedenken, daß infolge des variablen Zahnquer-

schnittes die Zahninduktion von Punkt zu Punkt sich ändert. Sie ist am äußeren Ankerdurchmesser ein Minimum und am Grunde der Nuten ein Maximum. Um die richtige Amperewindungszahl zu erhalten, verfährt man in der Weise, daß man die wirkliche Induktion für drei Punkte bestimmt, nämlich für den Grund der Nuten, die Mittelhöhe und den äußeren Umfang. Bestimmt man aus der Induktion und mit Hilfe einer Magnetisierungskurve die Amperewindungszahlen pro Zentimeter Länge und bezeichnet sie bezüglich mit  $AW_{\max}$ ,  $AW_{\text{mit}}$  und  $AW_{\min}$ , so ist die Zackenamperewindungszahl

$$(43) \quad AW_z = 2 l_z \frac{AW_{\max} + 4 AW_{\text{mit}} + AW_{\min}}{6},$$

wobei  $l_z$  die Zahnhöhe bedeutet.

Pole und Joch. Der Kraftfluß für die Pole und das Joch ist  $\Phi_1$ . Aus diesem, sowie den bekannten Querschnitten der Pole und des Joches lassen sich in einfachster Weise die bezüglichen Induktionen und daraus die Amperewindungen ( $AW_p$  und  $AW_j$ ) berechnen.

Hat man auf diese Weise die Amperewindungszahlen für die einzelnen Teile des magnetischen Kreises bestimmt, so ergibt sich durch Addition der letzteren die Gesamtamperewindungszahl  $AW_t$ . Es ist somit

$$(44) \quad AW_t = AW_a + AW_l + AW_z + AW_p + AW_j.$$

Für eventuelle Ungenauigkeiten in der Rechnung empfiehlt es sich, etwa 4—8% der berechneten Amperewindungszahl zuzuschlagen.

Die so ermittelte Amperewindungszahl wird hinreichen, um bei Leerlauf die nötige Spannung zu geben und bei Vollast den Spannungsabfall im Anker auszu-

gleichen. Der stromdurchflossene Anker übt aber eine Rückwirkung auf das magnetische Feld aus. Wie schon im II. Teil erläutert, schwächt eine Anzahl von Ankerwindungen, die sogenannten Gegenwindungen, das Feld direkt. Soll letzteres also seine ursprüngliche Stärke auch bei Belastung beibehalten, so müssen wir zu den berechneten Amperewindungen noch so viel Amperewindungen zuschlagen, als die Gegenamperewindungen betragen, nämlich

$$A S (t - t \alpha)$$

pro magnetischen Stromkreis.

### **Kommutierung <sup>1)</sup>, Ankerrückwirkung und Berechnung des Luftzwischenraumes.**

Passiert eine Spule bzw. die mit dieser Spule verbundene Kommutatorlamelle eine Bürste, so wird, wie schon im II. Teile gezeigt wurde, der Strom in dieser Spule von einer gewissen Stärke bis auf Null sinken und dann wieder in entgegengesetzter Richtung bis auf ein gewisses Maximum steigen müssen. Die hierbei sich abspielenden Vorgänge sollen zunächst etwas näher und an Hand von Diagrammen betrachtet werden.

In Figur 14 *A* bis *E* sind die zeitlich aufeinander folgenden Momente jener Periode dargestellt, während welcher der Strom in einer Ankerspule reversiert wird; der Kommutator bewegt sich während dieser Zeit um die Breite einer Lamelle vorwärts.

<sup>1)</sup> Die Theorie der Kommutierung und Funkenbildung an Gleichstrommaschinen bildet ein ziemlich schwieriges Kapitel in der Theorie der Gleichstrommaschinen. Zum Studium desselben sei insbesondere auf das vorzügliche Werk Prof. Arnolds hingewiesen.

In Figur 14 *A* befindet sich die Bürste auf Lamelle 1. Es fließt daher durch die links und rechts von der Lamelle 1 befindlichen Spulen ein Strom

von der Stärke  $i$  (die gleich ist  $\frac{J}{2a}$ ); derselbe Strom fließt

natürlich auch durch die betrachtete Spule II. Im nächsten Moment (Fig. 14 *B*) hat sich nichts geändert, d. h. es fließt noch immer von den links von der Lamelle 1 und rechts von der Lamelle 2 gelegenen Spulen ein Strom  $i$  zu denselben. Doch ist überdies noch die Spule II durch die Bürste kurzgeschlossen. Der Kurzschlußstrom der Spule II muß sowohl durch Lamelle 1 als auch durch Lamelle 2 fließen. Nun entsteht die Frage nach der Größe dieses Kurzschlußstromes. Nennen wir ihn  $i_k$ , so ist

$$i_k = \frac{E_k}{w_k},$$

wobei  $E_k$  die in der kurzgeschlossenen Spule induzierte

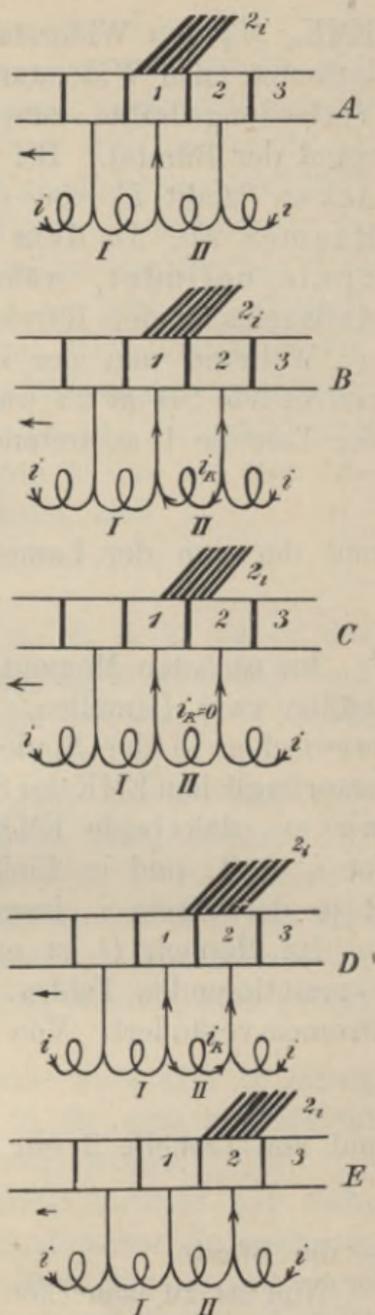


Fig. 14.

EMK,  $W_k$  den Widerstand des Kurzschlußstromkreises bedeutet (also Widerstand der Spule + Widerstand der Verbindungsdrähte zum Kommutator + Kontaktwiderstand der Bürste). Bei konstanter Umdrehungszahl des Ankers hängt  $E_k$  von der Feldstärke desjenigen Raumes ab, in dem sich die kurzgeschlossene Spule befindet, während  $W_k$  wegen der variablen Auflagefläche der Bürste sich fortwährend ändert.

Während nun der im Momente  $A$  in die Bürste eintretende Strom  $2i$  war, wird der im Momente  $B$  von der Lamelle 1 austretende Strom gleich sein

$$i + i_k$$

und der von der Lamelle 2 austretende Strom gleich

$$i - i_k.$$

Im nächsten Moment ( $C$ ) bedeckt die Bürste gleichmäßig zwei Lamellen. Das kommutierende Feld hat inzwischen in der Spule II eine EMK erzeugt, die der ursprünglichen EMK der Spule II entgegenwirkt. Nehmen wir an, daß beide EMKe einander gleich sind, dann ist  $i_k = 0$ , und es fließt wieder von Lamelle 1 und 2 je der Strom  $i$ , insgesamt also in die Bürste  $2i$ .

Im Moment  $D$  ist nunmehr unter dem Einfluß des kommutierenden Feldes die Richtung des Kurzschlußstromes verändert. Von Lamelle 1 fließt also ein Strom

$$i - i_k$$

und von Lamelle 2 ein Strom

$$i + i_k$$

in die Bürste.

Nun ist zu bemerken, daß der Widerstand des Kurzschlußstromkreises infolge der stetig verringerten Kontakt-

fläche zwischen der Bürste und der Lamelle 1 allmählich zunimmt und damit der Kurzschlußstrom allmählich geringer wird. Im Momente, in dem die Bürste die Lamelle 1 verläßt ( $D$ ), wird die Auflagefläche zwischen der Bürste und der Lamelle 1 nahezu Null sein. Fließt durch diese kleine Fläche ein starker Strom, so wird natürlich infolge der hohen spezifischen Beanspruchung das Bürstenmaterial zu glühen anfangen; wird dann im letzten Momente der Strom unterbrochen, so ist natürlich eine starke Funkenbildung unvermeidlich. Soll nun andererseits die Erwärmung und Funkenbildung gering sein, so muß im Momente  $D$  der von der Lamelle 1 zur Bürste fließende Strom, also

$$i - i_k$$

gering sein. Je geringer  $i - i_k$ , d. h. je näher der Kurzschlußstrom dem Ankerstrom, desto günstiger sind die Kommutationsverhältnisse, die bei  $i - i_k = 0$  am günstigsten werden.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, daß eine funkenfreie Kommutation an zwei Hauptbedingungen geknüpft ist, nämlich:

1. Der Verlauf des Kurzschlußstromes muß ein derartiger sein, daß er im Momente des Ablaufens einer Lamelle von der Bürste nicht viel kleiner oder größer ist als der halbe Bürstenstrom.

2. Die kurzgeschlossene Spule muß sich in einem Felde befinden, durch welches in ihr eine hinreichend große kommutierende EMK erzeugt werde.

Auf den Verlauf des Kurzschlußstromes hat nicht nur der Widerstand des kurzgeschlossenen Stromkreises (Spulenwiderstand, Übergangs- und Bürstenwiderstand usw.) einen Einfluß, sondern auch die Selbstinduktion

der Spule, sowie die der benachbarten Spulen. Die Entwicklung dieser rein elektrischen Bedingungen in eine oder mehrere Formeln ist keineswegs einfach; deren nähere Beschreibung würde den Rahmen dieses Werkchens überschreiten. Hier sei nur noch auf die allgemeinen Bedingungen für eine funkenfreie Kommutierung hingewiesen, nämlich: tadelloses Material der Lamellen und Bürsten; Kollektor muß gut rund laufen, Bürsten leicht aber sicher aufsitzen und die Maschine erschütterungsfrei aufgestellt sein.

Außerdem soll, wie bereits auf S. 20 bemerkt, die zwischen zwei Lamellen auftretende Potentialdifferenz ca. 30 Volt und die Länge des Ankers womöglich 35—40 cm nicht überschreiten, letzteres, damit der Selbstinduktionskoeffizient der Wicklungen nicht zu groß werde.

Mit der unter 2. genannten Bedingung, dahingehend, daß die kurzgeschlossene Spule in einem Felde von gewisser Stärke sich befinden müsse, wollen wir uns im folgenden noch beschäftigen.

Zunächst sei noch daran erinnert, daß zwecks Vorbereitung der Kommutation die kurzgeschlossene Spule sich in einem Felde befinden muß, dessen Richtung eine andere sein muß als die Richtung des Feldes, das die Spule soeben verließ, d. h. die kurzgeschlossene Spule muß unter den Einfluß des nächsten Poles gebracht werden.

Wie bekannt, ist bei Leerlauf einer voll erregten Gleichstrommaschine das Feld unter den Polen homogen oder doch nahezu homogen. Mißt man die Feldstärke am Umfang des Ankers und trägt dieselbe als Funktion jenes Winkels auf, unter dem die Messung erfolgte, so erhält man eine Kurve von der in Figur 15 dargestellten

Form. In dieser Kurve ist auch die Stellung der Bürsten (in der neutralen Zone) und die Lage der Polschuhe angedeutet. Die Strecke  $a-b$  in der Figur entspricht der konstanten Induktion  $B_i$  unter den Polschuhen, während außerhalb der Polschuhe diese Induktion rasch fällt, um schließlich in der geometrisch neutralen Zone gleich Null zu werden. Die Kurve in Figur 15 wird Feldkurve genannt.

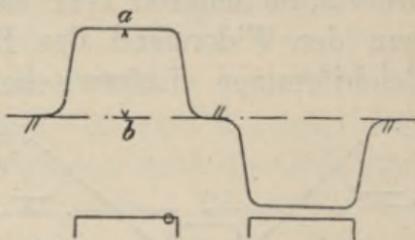


Fig. 15. Feldkurve.

Bei Belastung erzeugt, wie bereits im II. Teile, S. 56, ausgeführt wurde, der Anker ebenfalls ein magnetisches Feld, und dieses Feld verzerrt das ursprüngliche primäre Feld. Die Art dieser Verzerrung ist am deutlichsten zu ersehen, wenn man das Ankerfeld aufzeichnet (ebenfalls am Umfange des Ankers gemessen und als Funktion des Meßwinkels aufgetragen) und beide Felder dann kombiniert.

Um die Gestalt des Ankerfeldes zu finden, denke man sich wieder eine Maschine mit einem Polschuh-

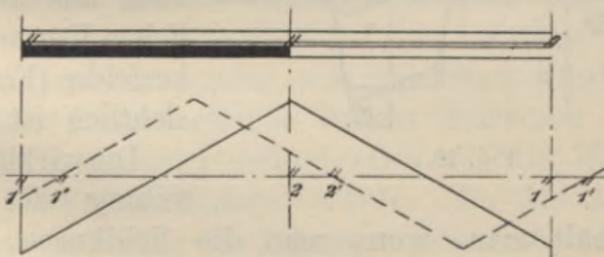


Fig. 16.

winkel von  $180^\circ$  (siehe Fig. 1). Figur 16 stellt den Ankerumfang und die Polschuhe aufgeschnitten und in

eine Ebene ausgebreitet dar. In dem schwarz bezeichneten Teile des Ankerumfangs fließt der Strom nach abwärts, im anderen Teile nach aufwärts. Vernachlässigt man den Widerstand des Eisens, so wird, wegen des gleichförmigen Luftzwischenraumes und der gleich-

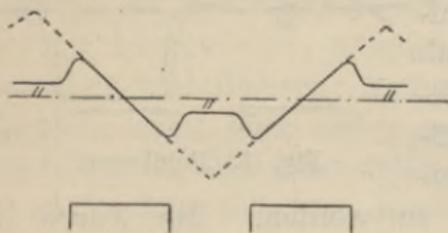


Fig. 17. Kurve des Ankerfeldes.

Maschinen, deren Polschuhe voneinander getrennt sind, noch insofern eine Abänderung, als der bei diesen Maschinen auftretende magnetische Widerstand um so größer ist, je näher wir zur neutralen Zone kommen, und

mäßigen Verteilung der Amperewindungen am Ankerumfang, das Ankerfeld eine dreieckförmige Gestalt haben (siehe voll ausgezogene Kurve in Fig. 16). Diese Kurve erleidet bei normalen

dort ein Maximum erreicht. Es ist daher in der neutralen Zone das Ankerfeld ein Minimum, was auch aus der wirklichen Kurve des Ankerfeldes (Fig. 17) ersichtlich ist.

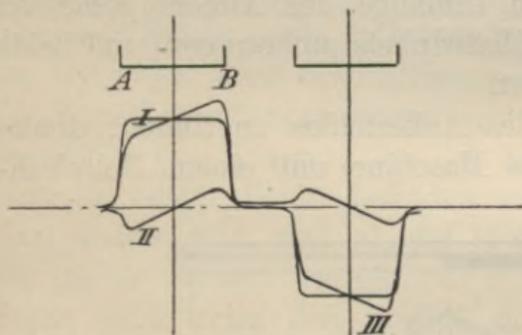


Fig. 18.

Die wirkliche Verteilung der Kraftlinien erhält man, wenn man die Feldkurve mit der Kurve des Ankerfeldes kombiniert. Bei konstanter Erregung bleibt auch die Feldkurve konstant, während die Größe des Ankerfeldes mit der Belastung der Maschine nahezu proportional wächst. In Figur 18 bedeutet

I die Feldkurve, II die Ankerkurve einer kleinen Maschine; die letztere wurde bei halber Belastung der Maschine bestimmt. Die Kombination von I und II ergibt Kurve III. Aus dieser Kurve erkennt man deutlich die Verzerrung des Feldes; dasselbe ist unter der Polspitze *A* geschwächt, unter der Polspitze *B* hingegen verstärkt worden. Bei voller Belastung des Ankers wachsen auch die Ordinaten der Ankerkurve nahezu aufs Doppelte. Dieser Fall ist in Figur 19 dargestellt und ist sehr lehrreich. Daraus ist zu ersehen, daß das Feld infolge der Ankerrück-

wirkung bei *A* nicht nur geschwächt, sondern sogar reversiert wurde. Würde nun die kurzgeschlossene Spule sich in diesem Raume befinden, so würde das Feld bei *A* die Kommutierung nicht nur nicht unterstützen, sondern ihr entgegenarbeiten; die Maschine würde stark funken.

Würde man andererseits die Bürsten bis nahe zur Polmitte verschieben, so würde dadurch ein großer Teil der Ankerdrähte unwirksam werden, und die Maschine würde nicht auf ihre Leistung kommen.

Überlegt man nunmehr, was geschehen würde, wenn man bei der ursprünglichen halben Belastung der Maschine den Luftzwischenraum etwa auf die Hälfte des früheren Wertes reduzieren würde. Da das Ankerfeld (bei Vernachlässigung des Eisenwiderstandes) dem Ankerstrom direkt, dem Luftzwischenraum aber umgekehrt proportional ist, so wird der Effekt der gleiche sein wie früher, d. h. das resultierende Feld wird wieder der Kurve III (Fig. 19) entsprechen. Nicht nur eine

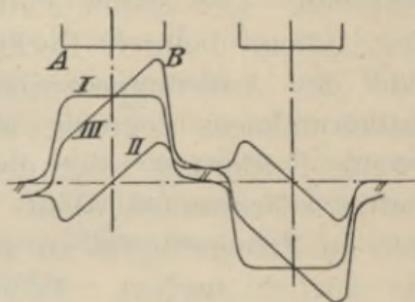


Fig. 19.

Vergrößerung der Ankeramperewindungen, sondern auch eine Verringerung des Luftzwischenraumes kann also zur Umkehrung des Feldes an der Polspitze führen. Da jedoch zwecks einer günstigen Kommutierung das Feld unter der Polspitze einen gewissen Wert nicht unterschreiten soll, so darf entweder bei einem gegebenen Luftzwischenraum die Amperewindungszahl (also Drahtzahl) des Ankers einen gewissen Wert nicht überschreiten, oder bei gegebener Ankerdrahtzahl die Länge des Luftzwischenraumes ( $\delta$ ) einen gewissen Wert nicht unterschreiten. Der ersten Forderung wird bei Berechnung des Ankers dadurch Rechnung getragen, daß die Anzahl der Ankeramperewindungen pro Zentimeter des Ankerumfangs begrenzt wird ( $AS = \max 250$ ). Die zweite Forderung zeigt den Weg zur Berechnung des Luftzwischenraumes ( $\delta$ ) an. Aus Gründen der Ökonomie (um an Erregerkupfer zu sparen), wird man  $\delta$  so klein als möglich machen. Andererseits muß aber  $\delta$  so groß gemacht werden, daß die Ankerrückwirkung nicht zu groß wird, bzw. das Feld unter der Polspitze  $A$  (Fig. 18) noch einen gewissen Wert behält. Es soll (nach Kapp) bei

Trommelankern  $B_l$  unter der Polspitze  $> 1500$ ,

Ringankern  $B_l$  unter der Polspitze  $> 2500$

sein.

Aus dem Vorgesagten dürfte bereits zur Genüge hervorgehen, daß die angeführten Regeln nur Faustregeln sein können, die nur beschränkte Gültigkeit haben und daher mit Vorsicht zu verwenden sind.

Eine andere, von Fischer-Hinnen angegebene Annäherungsformel lautet

$$(45) \quad Z_1 < 6,37 \frac{B_l \delta a p}{J \alpha},$$

wobei  $\delta$  in Zentimeter einzusetzen ist. Sind sämtliche Dimensionen der Maschine bekannt, so läßt sich aus dieser Formel leicht der minimal zulässige Wert für  $\delta$  ermitteln.

### Berechnung der Magnetwicklung.

Auf S. 43 wurde auf die vorläufige, annähernde Berechnung des Wicklungsraumes hingewiesen. Diese stützt sich auf die Erfahrungstatsache, daß bei gut konstruierten Maschinen die Amperewindungszahl pro Magnetspule ungefähr  $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{1}{2}$  mal so groß ist, als die auf jeden Pol entfallende Ankeramperewindungszahl. Der Wert 2,5 gilt für kleine Maschinen, der Wert 1,5 für große; für Maschinen mittlerer Größe sind dazwischenliegende Werte zu nehmen. Aus der Ankerdrahtzahl und Stromstärke läßt sich somit die ungefähre Amperewindungszahl pro Spule leicht bestimmen.

Denken wir uns nunmehr die gesamten Feldwindungen durch eine einzige Windung ersetzt, so muß durch diese Windung offenbar ein Strom fließen, der gleich ist der Amperewindungszahl pro Spule. Nennt man diesen Strom  $J_m$ , so ist also

$$J_m = AW_p.$$

Bezeichnet man ferner die spezifische Stromstärke der Wicklung mit  $i_1$ , so ist der erforderliche Wicklungsraum

$$Q_m = \frac{J_m}{i_1}.$$

Die zulässige spezifische Stromstärke  $i_1$  schwankt je nach der Stärke des Drahtes und der Wickeltiefe zwischen 1 und 2 Ampere (per Quadratmillimeter).

Nun ist aber zu bedenken, daß der Wicklungsraum einer aus vielen dünnen Drähten bestehenden Wicklung bei derselben Amperewindungszahl weit größer ist als der nur aus einer einzigen Windung bestehenden Wicklung, da der bei dünnen Drähten von der Drahtisolation eingenommene Raum im Verhältnis zum Drahtquerschnitt sehr groß ist. Man muß daher den zuvor ermittelten Wert für  $Q_m$  noch mit dem sogenannten Füllungsfaktor multiplizieren, so daß

$$Q_m = \frac{J_m}{i_1} K_f .$$

$K_f$  schwankt von ca. 3 für sehr dünne Drähte (kleine Maschinen und hohe Spannung) bis ca. 1,5 für stärkere Drähte (große Maschinen und geringe Spannung).

Die genaue Bestimmung des erforderlichen Wickelraumes bzw. der Drahtstärke soll für Nebenschluß- und Hauptschlußwicklung getrennt behandelt werden.

#### a) Nebenschlußwicklung.

Bezeichnet man mit

$w_n$  den Widerstand einer Magnetspule,

$q_n$  den Querschnitt des Drahtes in Quadratmillimeter,

$l_m$  die Länge einer in der Mitte der Wicklung gelegenen Windung (mittlere Windungslänge in Meter),

$i_n$  den Nebenschlußstrom,

$z_n$  die Anzahl Windungen pro Magnetspule,

$E$  die Klemmenspannung der Maschine.

so ist

$$(46) \quad i_n = \frac{E}{2 p w_n}$$

und

$$(47) \quad w_n = \frac{z_n l_m}{50 q_n}.$$

Die Erwärmung der Magnetspule bis auf ca.  $55^{\circ}$  C ist hier dadurch berücksichtigt, daß der spezifische Widerstand des Kupfers mit  $\frac{1}{50}$  eingesetzt wurde.

Nun ist die pro Spule erforderliche Amperewindungszahl

$$AW_p = i_n z_n.$$

Aus Gleichung (47) folgt

$$(48) \quad z_n = \frac{50 w_n q_n}{l_m},$$

daher ist

$$(49) \quad AW_p = \frac{25 E q_n}{p l_m}$$

und

$$(50) \quad q_n = \frac{AW_p p l_m}{25 E}.$$

$l_m$  wird zunächst dadurch bestimmt, daß man sich die auf die vorher angegebene Weise ungefähr berechnete Spule in natürlicher Größe aufzeichnet und  $l_m$  direkt mißt. Aus Gleichung (50) ergibt sich dann der Querschnitt des zu verwendenden Drahtes in Quadratmillimeter und daraus auch der Durchmesser. Letzterer ist auf Zehntelmillimeter abzurunden.

Nach Berechnung der Drahtdimension empfiehlt es sich, eine Kontrollrechnung bezüglich des Widerstandes und der Nebenschlußstromstärke durchzuführen.

Bemerkt sei noch, daß, wie aus Formel (50) hervorgeht, die Amperewindungszahl einer Spule bei gegebener

Spannung von der Windungszahl unabhängig ist und nur vom Drahtquerschnitt und der mittleren Windungslänge abhängt. Stellt es sich bei einer fertigen Maschine heraus, daß die Erregung zu gering ist, so wäre es natürlich zwecklos, die Windungszahl der Spule zu vermehren. Es muß vielmehr in einem solchen Fall die Spule umgewickelt werden, wobei ein stärkerer Draht zu verwenden ist. Die Amperewindungszahl wächst nahezu proportional mit dem Drahtquerschnitt.

### b) Hauptschlußwicklung.

Die Berechnung einer Hauptschlußwicklung ist verhältnismäßig einfacher. Die Anzahl der Windungen pro Spule ist

$$z_n = \frac{AW_p}{J}$$

und der Querschnitt des zu verwendenden Drahtes oder Bandes

$$q_n = \frac{J}{i_1}.$$

Die spezifische Stromstärke schwankt hier von 1 bis 1,5 Ampere pro Quadratmillimeter je nach Stärke des Drahtes. Bei Maschinen, insbesondere bei Motoren für intermittierenden oder kurzzeitigen Betrieb, kann man  $i_1 = 2\text{—}3$  Ampere pro Quadratmillimeter machen.

Aus der Anzahl der Windungen sowie dem Drahtquerschnitt ergibt sich in einfachster Weise der Wickelraum.

### III. Die Effektverluste und die Erwärmung von Gleichstrommaschinen.

Die in Gleichstrommaschinen auftretenden Effektverluste lassen sich in drei Gruppen einteilen, nämlich:

- a) Verluste durch Stromwärme im Anker und den Magneten;
- b) magnetische Verluste (Hysteresis und Wirbelströme);
- c) mechanische Verluste (Lager-, Bürsten- und Luftreibung).

#### Verluste durch Stromwärme.

Der in der Ankerwicklung selbst auftretende Ohmsche Verlust ist

$$V_a = J^2 \cdot W_a,$$

wobei  $J$  den Ankerstrom,  $W_a$  den Ankerwiderstand bedeutet. Die Berechnung des letzteren wurde bereits auf S. 31 gezeigt. Nur ist noch zu bedenken, daß nach mehrstündigem Betriebe die Ankerwicklung sich erwärmt, somit ihr Widerstand und der Verlust in der Wicklung steigen. Für annähernde Rechnungen kann man annehmen, daß der Widerstand der Wicklung pro Grad Celsius um 0,4% wächst, und daß die Wicklung sich nach mehrstündigem Laufe um ca. 30—40% über die Lufttemperatur erwärmt.

Ein Effektverlust findet auch noch an den Kontaktstellen zwischen dem Kommutator und den Bürsten statt. Bei Kupferbürsten ist dieser Kontaktwiderstand und damit auch der Effektverlust nur sehr gering und kann daher in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

Anders liegt der Fall bei Kohlenbürsten, Ihr Kontaktwiderstand ist oft nicht unbedeutend, sollte daher wenigstens annähernd berücksichtigt werden. Die Berechnung des Übergangsverlustes ist der ungleichen Stromverteilung unter den Bürsten halber nicht einfach. Zur ungefähren Bestimmung der Verluste kann

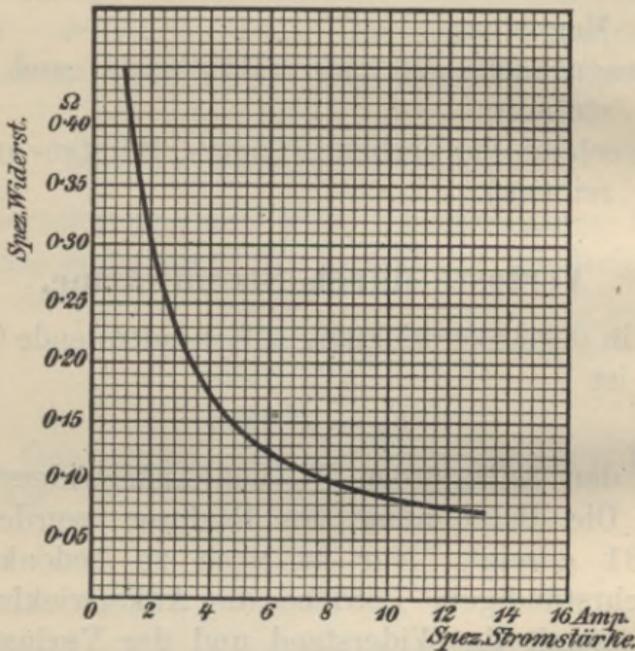


Fig. 20.

die Kurve Figur 20 benützt werden. Diese gibt einen Mittelwert für den spezifischen Widerstand von Kohlenbürsten (Widerstand pro Quadratcentimeter Auflagefläche) als Funktion der spezifischen Stromstärke (Strom pro Quadratcentimeter Auflagefläche) an. Wie aus dieser Kurve ersichtlich, nimmt der Kontaktwiderstand von Kohlenbürsten mit zunehmender Stromstärke ab.

Bezeichnet

$m$  die Gesamtzahl aller Bürsten an einer Maschine,

$q_b$  die Auflagefläche einer Bürste in Quadratcentimeter,

so ist der Gesamtübergangswiderstand

$$(51) \quad W_c = \frac{4 W_b}{m q_b},$$

wobei  $W_b$  den aus der Kurve ermittelten spezifischen Widerstand der Auflagefläche bedeutet.

Ein weiterer Verlust durch Stromwärme tritt in der Magnetwicklung auf. Dieser Verlust kann aus der bekannten Stromstärke und dem berechneten Widerstand der Erregerwicklung leicht berechnet werden.

Die folgende Tabelle dient dazu, einen Begriff von der Größe der bezüglichen Verluste zu geben. Die angegebenen Werte beziehen sich auf normale Maschinen und sind Mittelwerte von Maschinen verschiedener Konstruktion.

| Leistung<br>der Maschine<br>KW | Ohmscher Verlust im<br>Anker in % der Leistung<br>ca. | Erregerverlust in<br>% der Leistung<br>ca. |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $\frac{1}{10}$ — 1             | 15—10                                                 | 12—8                                       |
| 1— 10                          | 10— 6                                                 | 8—5                                        |
| 10— 50                         | 5— 4                                                  | 5—3                                        |
| 50—500                         | 4— 2                                                  | 3—2                                        |
| über 500                       | unter 2                                               | unter 2                                    |

### Magnetische Verluste.

Es gibt zweierlei Arten von magnetischen Verlusten: Hysteresisverluste und Wirbelstromverluste. Die Ursachen derselben sind bereits im II. Teile erläutert

worden. Im folgenden soll daher nur ihre ungefähre Berechnung besprochen werden.

Nach den Ausführungen im I. Teil, S. 95 ist der Hysteresisverlust pro Quadratcentimeter und Zyklus

$$(52) \quad V_h = \eta B^{1,6} 10^{-7} \text{ Watt,}$$

wobei  $\eta$  eine von der Qualität des verwendeten Materials abhängige Konstante ist. Für das hier in Betracht kommende Material, nämlich gutes Ankerblech, ist  $\eta = 0,0025$  (Mittelwert).

Hysteresisverluste treten auf:

1. im Ankerkerne. Da sowohl die Induktion im Ankerkerne als auch dessen Volumen bekannt sind, bietet die Berechnung des Verlustes keine Schwierigkeiten. Bemerkt sei jedoch, daß infolge der ungleichmäßigen Verteilung der Kraftlinien im Ankerkörper der wirkliche Hysteresisverlust stets etwas größer ausfällt als der nach vorangeführter Formel berechnete. Diesem Umstande kann man durch einen kleinen perzentuellen Zuschlag leicht Rechnung tragen.

2. in den Zacken. Dieser Verlust ist bei Maschinen, die mit hoher Luftinduktion arbeiten, oft ziemlich beträchtlich. Auch für die Berechnung der Hysteresisverluste in den Zacken gilt natürlich die Formel (52). Es muß dabei aber erst entschieden werden, welcher Wert für  $B_z$  einzusetzen ist. Infolge des sich von Punkt zu Punkt ändernden Zackenquerschnittes ändert sich auch die Induktion. Sie ist für  $\alpha_1$  ein Minimum, für  $\alpha_2$  ein Maximum (siehe Fig. 21). Berechnet man daher

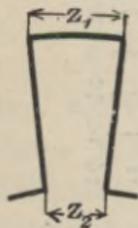


Fig. 21.

den Hysteresisverlust in den Zacken für  $B_{z \text{ min}}$ , so muß man den so berechneten Verlust noch mit einer Konstanten

$K_h$  multiplizieren, um den wirklichen Verlust zu erhalten. Diese Konstante wird offenbar um so größer sein, je dünner der Zahn an der untersten Stelle (bei  $x_2$  im Verhältnis zu  $x_1$ ) ist; sie kann rechnerisch ermittelt werden, doch sei im folgenden als Resultat dieser Rechnung nur eine Kurve für die Konstante  $K_h$  als Funktion des Verhältnisses  $\frac{x_2}{x_1}$  gegeben (siehe Fig. 22).

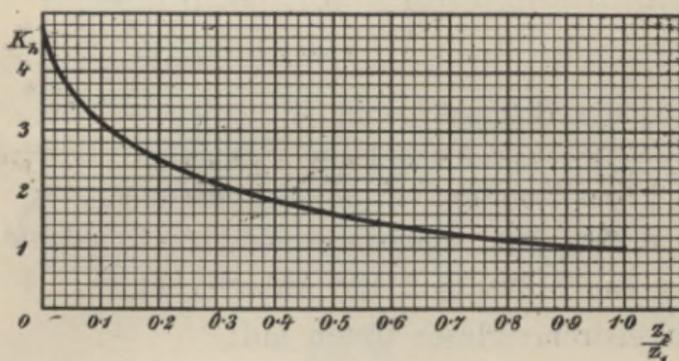


Fig. 22.

3. in den Polschuhen. Wie auf S. 48 gezeigt wurde, ist die Verteilung der Kraftlinien im Luftzwischenraum keine gleichmäßige. Oberhalb der Zacken ist die Kraftliniendichte am größten, oberhalb der Nuten am geringsten (siehe Fig. 12). Da diese Stellen größerer und kleinerer Induktion mit dem Anker rotieren, die Polschuhe aber feststehen, so findet eine fortwährende Verstärkung und Schwächung des Magnetismus in den oberen Schichten der letzteren statt. Diese fortwährende Veränderung des Magnetismus bedingt einen, wenn auch verhältnismäßig nur geringen Hysteresisverlust in den Polschuhen. Rechnerisch läßt sich dieser Verlust kaum bestimmen. Man kann ihn allenfalls schätzungsweise in Rechnung stellen.

Wirbelstromverluste. Die Natur der Wirbelströme wurde bereits im I. Teile, S. 46 erläutert. Auch wurde gezeigt, daß die Größe der Wirbelstromverluste durch Unterteilung des im magnetischen Felde rotierenden Körpers wesentlich reduziert werden kann. Der Wirbelstromverlust hängt überdies noch vom Quadrate der Induktion und der Periodenzahl ab. Die vollständige Formel zur Berechnung des Wirbelstromverlustes lautet

$$(53) \quad V_w = \sigma \left( \delta_1 \frac{p_1}{100} \frac{B}{1000} \right)^2 v,$$

wobei  $\delta_1$  die Blechstärke in Millimeter,  
 $p_1$  die Periodenzahl pro Sekunde,  
 $v$  das Volumen in Kubikzentimeter,  
 $\sigma$  eine vom Material abhängige Konstante  
 bedeutet (im Mittel = 2 für Ankerblech).

Wirbelstromverluste treten auf:

1. im Ankerkörper. Ihre Berechnung aus der bekannten Induktion, dem Volumen usw. bietet keinerlei Schwierigkeiten. Zu bemerken ist, daß durch Bearbeitung, z. B. Überdrehen usw., des bereits aufgebauten Ankers ein feiner Eisenüberzug über dem ganzen Anker sich bildet. In diesem nicht unterteilten Eisenzylinder können dann unter Umständen nicht unerhebliche Wirbelströme induziert und so Verluste hervorgerufen werden. Diese lassen sich natürlich nicht berechnen; ein Bearbeiten des aufgebauten Ankers ist daher nach Möglichkeit zu vermeiden.

2. in den Zacken. Die Berechnung des Wirbelstromverlustes in den Zacken ist identisch mit der der Hystereseverluste. Man setzt also in Formel (53) für  $B$  den sich für  $\alpha_1$  (siehe Fig. 21) ergebenden Wert ein und multi-

pliziert den so gefundenen Verlust mit einer Konstanten,  $K_w$ , deren Werte als Funktion von  $\frac{x_2}{x_1}$  in Figur 23 gegeben sind.

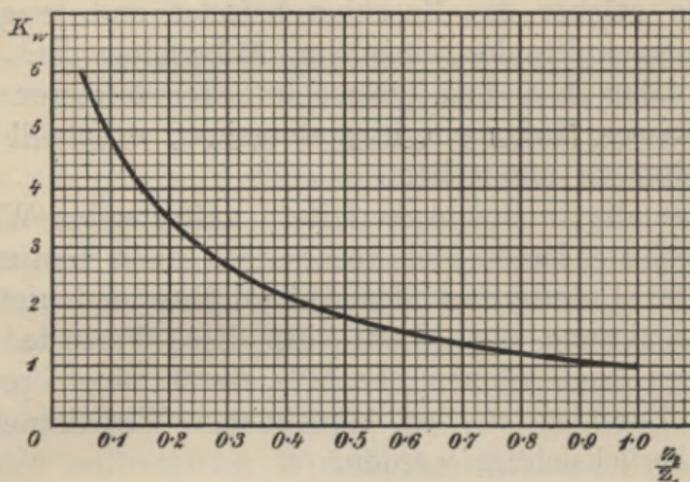


Fig. 23.

3. in den Ankerleitern. Bekanntlich treten Wirbelströme überall dort auf, wo durch ungleichmäßige Kraftlinienverteilung ungleiche EMKe in einem Leiter induziert werden. Betrachtet man einen Ankerdraht bei Leerlauf einer volleregten Maschine, so sieht man, daß derselbe beim Übergang von der neutralen Zone in das magnetische Feld für kurze Zeit in einem ungleichmäßigen Felde sich befindet (siehe Fig. 24). Es werden daher schon bei Leerlauf in den Ankerdrähten Wirbelströme induziert, die einen, wenn auch nur sehr geringen Verlust bedingen. Wird nun die Maschine belastet, so

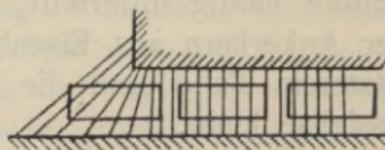


Fig. 24.

wird das magnetische Feld verzerrt; wie aus Kurve III in Figur 19 deutlich ersichtlich ist, ändert sich die Stärke des magnetischen Feldes hier von Punkt zu Punkt. Die Folge davon sind starke Wirbelströme, die um so stärker werden, je ungleichmäßiger das Feld, d. h. je stärker die Maschine belastet und je größer der Querschnitt der einzelnen Ankerleiter ist. Man pflegt daher mit dem Querschnitt der letzteren über ein gewisses Maß nicht hinauszugehen, eventuell auch den Leiter zu unterteilen.

Auch die in den Ankerleitern auftretenden Wirbelstromverluste lassen sich rechnerisch nicht bestimmen. Bei guter Unterteilung der Ankerdrähte und richtiger Dimensionierung der Nuten sind diese Verluste nicht bedeutend und können ebenfalls durch einen perzentuellen Zuschlag zu den berechneten Wirbelstromverlusten berücksichtigt werden.

4. in den Polschuhen. Wie schon auf S. 69 bemerkt, sind die obersten Schichten der Polschuhe einer variablen Magnetisierung ausgesetzt, die Anlaß zur Bildung von Wirbelstromverlusten gibt. Es werden, um diese Verluste möglichst zu reduzieren, die Polschuhe häufig unterteilt, bzw. in ähnlicher Weise wie der Ankerkern aus Eisenblechen zusammengesetzt. In letzterem Falle sind die Wirbelstromverluste vernachlässigbar klein.

Außer den besprochenen Verlusten treten in gewissen Fällen noch eine Anzahl von Wirbelstromverlusten auf, die ihrer geringen Bedeutung halber nur kurz erwähnt werden sollen.

Bei Ringankern bilden die stromdurchflossenen inneren Ankerdrähte ein stehendes Feld, in welchem die Ankerspeichen rotieren. In den letzteren werden

daher Wirbelströme erzeugt, die dadurch reduziert werden können, daß man als Material für diesen Konstruktions-  
teil ein nicht magnetisches Metall wählt (Messing,  
Bronze usw.).

Werden die Ankerbleche durch Bolzen zusammen-  
gehalten und die letzteren vom Ankerkörper und den  
Endscheiben nicht hinreichend isoliert, so bilden die  
Bolzen mit den Endscheiben geschlossene Stromkreise.  
Da ferner die Bolzen in einem starken magnetischen  
Felde rotieren, so werden in ihnen EMKe hervorgerufen,  
die ihrerseits starke Ströme erzeugen. Diese Verluste  
lassen sich durch entsprechende Isolierung der Anker-  
bolzen, sowie durch Verlegen derselben gegen die Mitte  
des Ankers zu (wo die Induktion eine geringere ist)  
wesentlich vermindern oder nahezu vermeiden.

Schließlich wären noch die in den Kommutator-  
lamellen auftretenden Wirbelstromverluste zu erwähnen.  
Der durch die Bürsten fließende Strom erzeugt nämlich  
ein stehendes magnetisches Feld; in den Kommutator-  
lamellen, die dieses Feld (bei mehreren Bürsten mehrere  
Felder) schneiden, werden Wirbelströme induziert, die  
um so kräftiger sind, je massiver, d. h. je dicker die  
Lamellen sind. Von Bedeutung ist dieser Verlust meist  
nur bei Maschinen für sehr geringe Spannung, bei denen  
die Lamellenzahl sehr gering ist und die einzelnen  
Lamellen sehr stark sind. Auch in diesem Falle kann  
man sich durch Unterteilung der Lamellen behelfen.

### **Mechanische Verluste.**

Hierher gehören die Verluste durch:

- Lagerreibung,
- Luftreibung und
- Bürstenreibung.

## 1. Lagerreibung und Luftreibung.

Die Reibung zwischen den Lagerschalen und den Zapfen einer Maschine bedingt bekanntlich einen Verlust, der von dem Reibungskoeffizienten, den Zapfendimensionen, der Zapfengeschwindigkeit und dem Lagerdruck abhängt. Aus zahlreichen, von Tower und Dettmar angestellten Versuchen hat sich ergeben, daß der Reibungskoeffizient dem spezifischen Zapfendruck umgekehrt proportional ist, sofern der letztere einen gewissen Wert (je nach Art der Schmierung ca. 35 bis 45 kg/qcm) nicht überschreitet. Da diese Werte bei Dynamomaschinen meist stark unterschritten werden, so kann zur Berechnung des Lagerreibungsverlustes die folgende Formel benützt werden:

$$(54) \quad V_r = 9,81 \frac{k_r}{t_z} d_z l_z \sqrt{v_z^3},$$

wobei

$V_r$  der Reibungsverlust in Watt,

$k_r$  eine Konstante,

$t_z$  die Lagertemperatur,

$d_z$  den Zapfendurchmesser in cm,

$l_z$  die Zapfenlänge in cm,

$v_z$  die Zapfengeschwindigkeit in m/sec

bedeutet.

Der Koeffizient  $k_r$  ist u. a. auch von der zur Schmierung der Lager benützten Ölsorte abhängig und wurde von Dettmar aus einer großen Anzahl von Versuchen für Dynamomaschinen zu ca. 2·6 ermittelt.

Da die Verluste durch Lagerreibung von denen durch Luftreibung experimentell nicht getrennt werden können, so werden diese Verluste gewöhnlich auch zusammen berechnet. In Formel (54) sind die Luftreibungsverluste bereits enthalten.

## 2. Bürstenreibung.

Dieser Verlust kann in ähnlicher Weise berechnet werden, wie der Verlust durch Lagerreibung. Bezeichnet man mit

$v_k$  die Umfangsgeschwindigkeit des Kommutators  
in m/sec,

$Q_b$  die Gesamt-Auflagefläche der Bürsten,

so ist der Verlust durch Bürstenreibung

$$(55) \quad V_b = 9,81 k_b v_k Q_b \text{ Watt,}$$

wobei.  $k_b = \text{ca. } 0,035$  für Kohlenbürsten

und  $k_b = \text{ca. } 0,03$  für Kupferbürsten.

**Erwärmung des Ankers und der Magnetspulen.**

Alle in einer Dynamomaschine auftretenden Verluste setzen sich in Wärme um, die in den einzelnen Teilen der Maschine zunächst aufgespeichert wird und so ihre Temperatur erhöht. Sobald zwischen der Temperatur der Maschine und der sie umgebenden Luft ein Unterschied besteht, gibt erstere an die letztere Wärme ab; diese Wärmeabgabe erfolgt um so rascher, je größer die Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der Maschine ist, d. h. also je länger letztere arbeitet. Schließlich wird ein stationärer Zustand erreicht werden, indem die zugeführte Wärme der abgegebenen gleich wird. Die Maschine wird dabei eine gewisse Endtemperatur erreicht haben.

Es ist klar, daß diese Endtemperatur um so größer sein wird, je größer die zugeführte Wärmemenge, d. h. je größer die in den einzelnen Maschinenteilen auftretenden Verluste sind. Andererseits wird die Endtemperatur um so geringer sein, je schneller die in der

Maschine erzeugte Wärme abgeleitet bzw. ausgestrahlt wird, je größer also die ausstrahlende Oberfläche der Maschine — vor allem des Ankers und der Magnete — ist. Bei ersterem ist noch zu berücksichtigen, daß ein Teil der Wärme durch den vom Anker erzeugten Luftzug abgeleitet wird; diese Ableitung wird um so schneller vor sich gehen, je größer die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers ist.

Bei einem bestimmten Verluste im Anker und den Magneten wird also die Erwärmung um so größer sein, je kleiner die ausstrahlende Fläche, d. h. also je kleiner der Anker oder die Magnete sind. Andererseits darf die Erwärmung dieser Teile eine gewisse Größe nicht überschreiten, da sonst für die aus organischen Substanzen bestehende Isolierung die Gefahr der Zerstörung durch Wärme zu befürchten wäre. Die Erwärmung einer Maschine beeinflußt also ihre Größe in ganz bedeutendem Maße. Je geringer die Erwärmung sein soll, desto größer muß die Maschine und desto teurer muß sie auch (für gleiche Leistung) werden.

Gewöhnlich besteht für stationäre Gleichstrommaschinen die Bedingung, daß kein Teil ihrer Wicklung sich mehr als  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$  über die Temperatur der umgebenden Luft erwärmen dürfe. Bezeichnet man die Lufttemperatur mit  $t$ , die der Maschine nach mehrstündigem Laufe mit  $t_1$ , so ist die Temperaturerhöhung

$$T = t_1 - t.$$

Damit nun dieses  $T$  nicht überschritten werde, muß der Verlust im Anker und den Magneten in einem gewissen Verhältnis zur Ausstrahlungsoberfläche stehen. Die folgenden Formeln geben diese Verhältnisse annähernd an:

Es ist für Anker

$$(56) \quad T \text{ (in } ^\circ \text{C)} = \frac{645 V_g}{O_a (1 + 0,3 \sqrt{v})}$$

und für Magnete

$$(57) \quad T \text{ (in } ^\circ \text{C)} = \frac{335 \times V_m}{O_m}.$$

In diesen Formeln bedeutet

$V_g$  die im Anker auftretenden Verluste,

$V_m$  den Erregerverlust pro Magnetspule,

$O_a$  und  $O_m$  die ausstrahlende Oberfläche des Ankers, bzw. einer Magnetspule in qcm,

$v$  die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers in m/sec.

Für  $O_a$  sind die Mantelfläche und die Stirnflächen des Ankers, für  $O_m$  die nicht vom Eisen des Magnetgestelles berührten Flächen der Magnetwicklung einzusetzen.

## IV. Die Konstruktion von Gleichstrommaschinen.

Im folgenden soll die Konstruktion der einzelnen Teile von Gleichstrommaschinen besprochen und an Hand von Skizzen näher erläutert werden.

Bei der überaus großen Mannigfaltigkeit der verschiedenen Konstruktionen ist eine auch nur annähernd erschöpfende Behandlung dieses Gegenstandes natürlich ausgeschlossen. Es sollen daher nur ganz wenige, jedoch typische Konstruktionen besprochen werden.

## Die Welle.

Die Welle dient zur Aufnahme des Ankers, des Kommutators und der Riemenscheibe bzw. Seilscheibe, Zahnrad usw. Gewöhnlich ruht sie in zwei Lagern, wobei die Riemenscheibe nach außen zu sitzen kommt. Mitunter

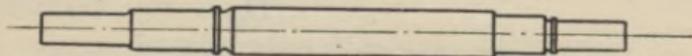


Fig. 25. Welle.

wird jedoch ein drittes Lager vorgesehen. Es kommt dann auch die Riemenscheibe zwischen zwei Lager.

Als Material für die Welle kommt Flußeisen oder Flußstahl, seltener Schweißeisen in Betracht.

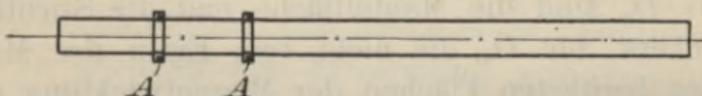


Fig. 26. Welle.

Figur 25 zeigt die Welle eines kleineren Motors. Zwecks leichter und billiger Herstellung kann man auch die Welle völlig glatt machen, wie dies Fig. 26 zeigt. Die Schrumpfringe *AA* dienen dann dazu, um

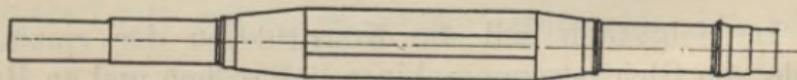


Fig. 27. Welle.

eine seitliche Bewegung der Welle in den Lagern zu verhindern.

Figur 27 zeigt die Welle einer 200 KW Dynamo. Die Berechnung der Welle und der Zapfen geschieht

nach den im allgemeinen Maschinenbau gültigen Regeln. Zu beachten ist jedoch, daß unter Umständen eine zusätzliche Belastung der Welle durch einseitigen Zug auftreten kann. Läuft nämlich der Anker nicht völlig zentrisch, bzw. sind die Polschuhe nicht zentrisch ausgebohrt, so wird infolge des geringeren Luftspaltes die Luftinduktion an einer Stelle größer sein als an den anderen Stellen. Nun ist die Anziehung zwischen zwei Flächen dem Quadrate der Induktion direkt, ihrem Abstände aber umgekehrt proportional. Es wird infolgedessen auf den Anker eine Anziehung in einer Richtung ausgeübt werden, deren Größe von der Exzentrizität des Ankers abhängt.

Das Gewicht des Ankers und die einseitige Anziehung können nun entweder im selben Sinne oder in entgegengesetzter Richtung wirken. In letzterem Falle heben sich Gewicht und Anziehung teilweise oder gänzlich auf. In ersterem Falle entsteht eine zusätzliche Belastung, die bei Berechnung der Welle berücksichtigt werden soll.

### Der Anker.

Die wesentlichen Teile des Ankers sind der Kern und die Wicklung. Aus den bereits bekannten Gründen wird der Kern nicht massiv ausgeführt, sondern aus einzelnen Blechen unter Zwischenlage von Papier zusammengebaut. In neuerer Zeit werden, anstatt einer Papierzwischenlage, die Bleche einseitig mit isolierendem Anstrich versehen.

Die Stärke der Bleche schwankt zwischen 0,5 und 0,75 mm. Bei hohen Periodenzahlen wird man eventuell noch unter 0,5 mm gehen, um übermäßige Wirbelstromverluste zu vermeiden.

Bei kleinen Ankern (mit Trommelwicklung) werden die Ankerbleche meist direkt auf die Welle gesetzt.

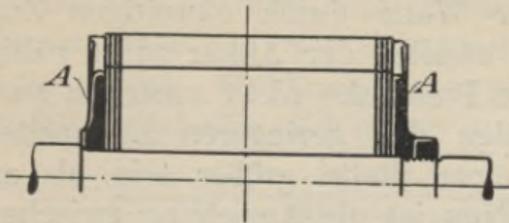


Fig. 28. Ankerkonstruktion.

Noch einfacher ist die in Fig. 29 dargestellte Konstruktion.

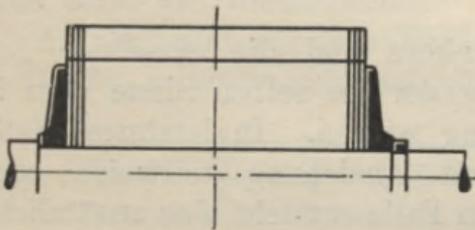


Fig. 29. Ankerkonstruktion.

der Bleche werden die zwei oder drei letzten Ankerbleche etwas stärker (etwa 1 mm) gemacht.

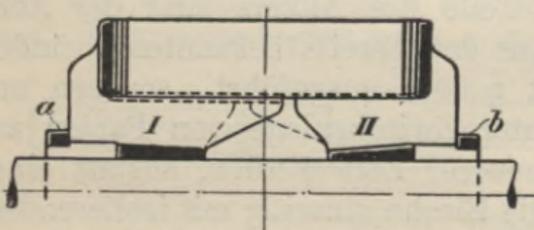


Fig. 30. Ankerkonstruktion.

Die Konstruktion eines solchen Ankers ist dann äußerst einfach, wie aus Fig. 28 ersichtlich.

*AA* sind Deckscheiben, die durch eine Mutter gegeneinander gepreßt werden können.

Die Deckscheiben reichen hier nur bis zum Grunde der Nuten; die Ankerbleche werden durch einen Schrumpfring in ihrer Lage fest gehalten. Zur Vermeidung des Aufspreizens

Eine ziemlich einfache Konstruktion für kleinere Ringanker, bei der die Verwendung von Bolzen vermieden ist, zeigt Fig. 30.

Die beiden Hälften I und II werden gegeneinander gepreßt und mittels warm aufgezogener Ringe *a* und *b* in ihrer Lage festgehalten. Diese Ankerkonstruktion wird in Bronzeuß ausgeführt.

Die Konstruktion eines Trommelankers für größeren Durchmesser ist in Figur 31 gezeigt.

Bei Ankern bis ca. 0,6 m Durchmesser werden die Ankerbleche aus einem Stücke herausgestanzt, während bei noch größeren Ankern einzelne Segmente gestanzt und dann derart aufgebaut werden, daß die Stoßfugen gegeneinander zu liegen kommen (s. Fig. 32).

Die Wicklung muß bei Ringankern stets von Hand aus durchgeführt werden. Vor Aufbringung der Wicklung

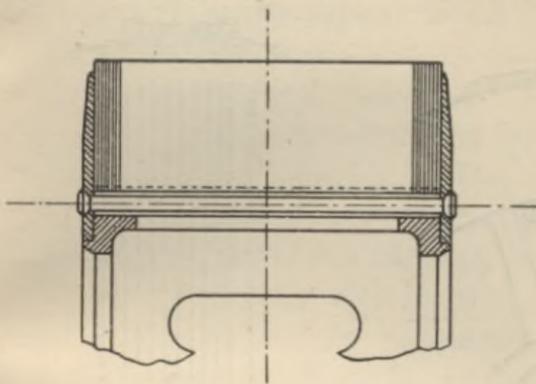


Fig. 31.

Konstruktion eines größeren Trommelankers.

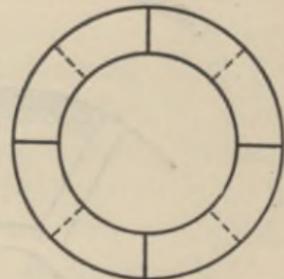


Fig. 32.

muß zunächst der Ankerkörper, soweit er mit der Wicklung in Berührung kommt, sorgfältig isoliert werden. Dies geschieht meist in der Weise, daß der Ankerkern mit ein oder mehreren Lagen von Mikanitleinwand oder Mikanitpapier (mit dünnen Glimmerplättchen beklebtes Papier bzw. Leinwand) umgeben und sodann mit Leinenstreifen umwickelt wird. Das Ganze wird noch mit Schellack bestrichen.

Nachdem nun der Ankerkörper sorgfältig isoliert wurde, wird der in der Regel doppelt mit Wolle oder Zwirn umspinnene Draht aufgewickelt. Der Querschnitt

des letzteren ist entweder kreisförmig oder rechteckig. Der erstere läßt sich am leichtesten wickeln, andererseits wird bei Verwendung des letzteren der zur Verfügung stehende Wicklungsquerschnitt besser ausgenützt. Quadratische Drähte lassen sich nur sehr schwer wickeln, werden daher niemals verwendet.

Da der innere Durchmesser kleiner ist als der äußere, so muß die Zahl der Lagen im Innern eines Ringankers auch größer sein als am äußeren Umfange (siehe Fig. 33).

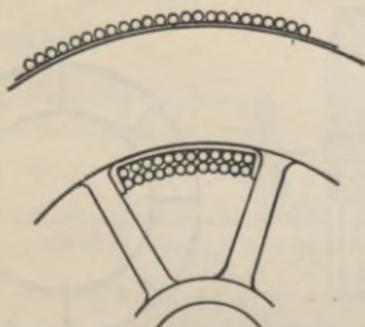


Fig. 33.

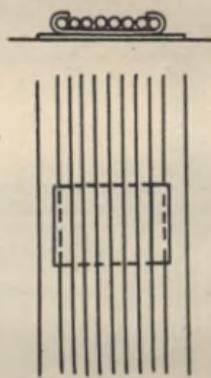


Fig. 34.

Manchmal wird auch der Draht außen hochkantig und innen flachkantig gewickelt.

Nach Fertigstellung der Wicklung müssen glatte Anker mit einer oder mehreren Bandagen versehen werden, mittels welcher die Ankerdrähte in ihrer Lage festgehalten werden. Eine solche Bandage zeigt Figur 34. Sie besteht aus einer isolierenden Unterlage (meist Glimmer), Neusilberdraht, der in mehreren Windungen fest über die Wicklung gezogen wird, und mehreren unter die Bandage gelegten Metallblättchen, die über die Bandage gebogen und mit den Drahtenden verlötet werden.

Glatte Trommelanker müssen in derselben Weise isoliert werden wie Ringanker. Zur Befestigung der Ankerdrähte am Umfange bzw. zur Verhütung des Gleitens der Ankerdrähte werden sogenannte Mitnehmer verwendet. Es sind dies eine Anzahl in den Anker eingelassener Streifen aus Isoliermaterial oder aus Metall; letztere werden aber meist mit Isoliermaterial (Preßspan usw.) umgeben (s. Fig. 35).

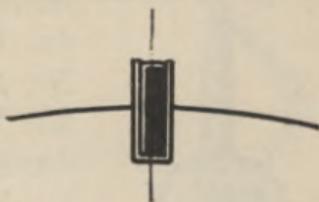


Fig. 35.

Aus den bereits bekannten Gründen werden bei Maschinen neuerer Konstruktion fast ausnahmslos Nuten-Trommelanker verwendet. Die Anbringung und Befestigung der Wicklung ist hier äußerst einfach, überdies kann die Wicklung für sich in sogenannten Formen und Schablonen hergestellt werden. Dies verbilligt nicht nur die Wicklung ganz bedeutend, sondern ermöglicht auch noch eine vorzügliche Isolation derselben.

Einige der gebräuchlichsten Nutenformen, sowie die Unterbringung der Wicklung in den Nuten und die

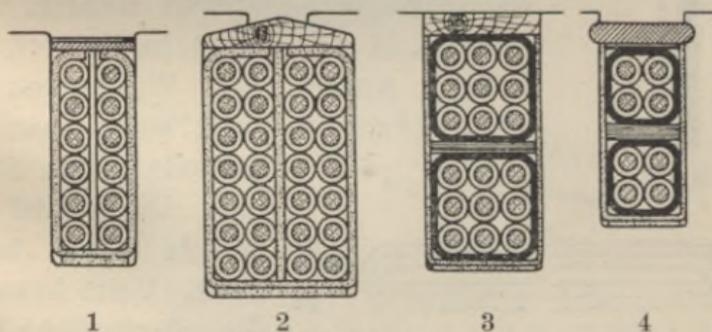


Fig. 36. Nutenformen.

Befestigung der Wicklung zeigt Figur 36. Die Nuten werden zunächst mit Isolationsmaterial (meist Preß-

span, Papier oder Mikanit) ausgekleidet, dann die Wicklung eingelegt und hierauf befestigt. Bei den halbgeschlossenen Nuten geschieht die Befestigung mittels eines Keiles. Ähnlich geschieht die Befestigung bei der Konstruktion Nr. 4, während bei den offenen Nuten die Wicklung wie bei glatten Anker durch Bandagen festgehalten wird.

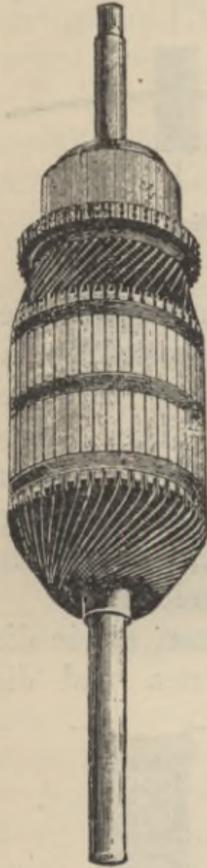


Fig. 37.

Wird bei Nuten-Trommelankern die Wicklung als Drahtwicklung ausgeführt, so werden zweipolige Anker meist von Hand aus bewickelt, während mehrpolige Anker mit Schablonenwicklung oder Stabwicklung versehen werden.

Einen zweipoligen Anker mit Handwicklung zeigt Figur 37. Der knäuel-förmigen Anordnung der Stirnverbindungen wegen nennt man diese Wicklung auch Knäuelwicklung.

Die aus Draht bestehenden Schablonenwicklungen können in verschiedener Weise hergestellt werden. Man kann z. B. den Draht in der erforderlichen Anzahl von Windungen um zwei Bolzen wickeln, wobei man eine

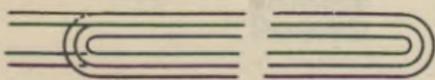


Fig. 38.

Schleife (s. Fig. 38) erhält. Diese wird dann mittels einer besonderen Vorrichtung in die erforderliche Form gebogen. Man kann

aber auch die Spule direkt um eine Form wickeln; eine solche ist in Figur 39 dargestellt. Schließlich zeigt

Figur 40 noch einen mit Schablonenwicklung versehenen Anker.

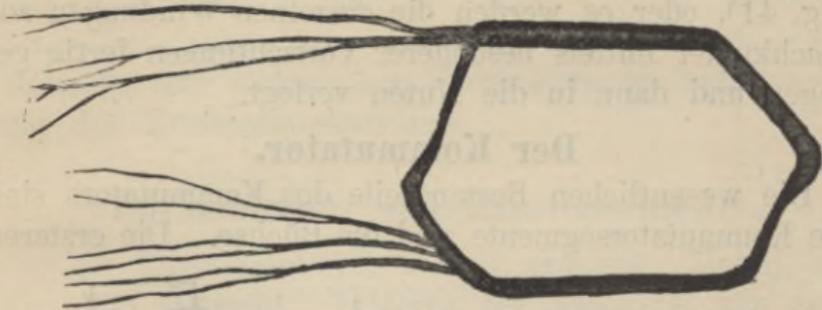


Fig. 39.



Fig. 40. Anker mit Schablonenwicklung.

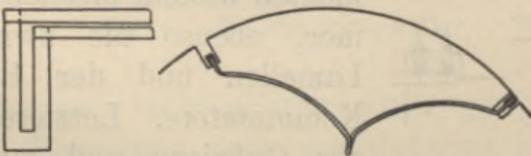


Fig. 41.

Ist die Anzahl von Leitern pro Nut gering, bzw. ist der Leiterquerschnitt groß, so wird die Wicklung als sogenannte Stabwicklung ausgeführt. Bei dieser Art von Wicklung werden entweder die einzelnen Stäbe in

die Nuten verlegt und dann durch evolventenförmige Verbindungsstücke seitlich miteinander verbunden (siehe Fig. 41), oder es werden die einzelnen Windungen aus Flachkupfer mittels besonderer Vorrichtungen fertig gebogen und dann in die Nuten verlegt.

### Der Kommutator.

Die wesentlichen Bestandteile des Kommutators sind die Kommutatorsegmente und die Büchse. Die ersteren

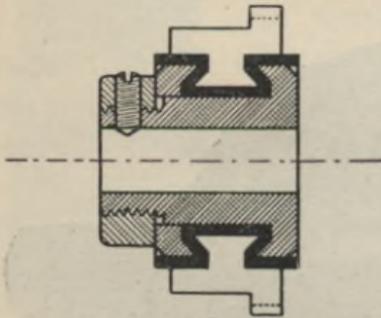


Fig. 42. Kommutator.

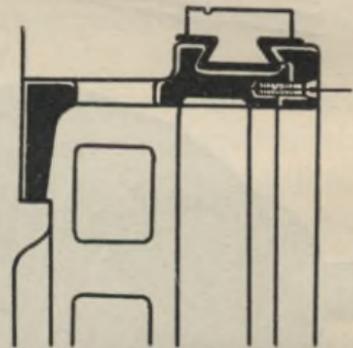


Fig. 43. Kommutatorkonstruktion.

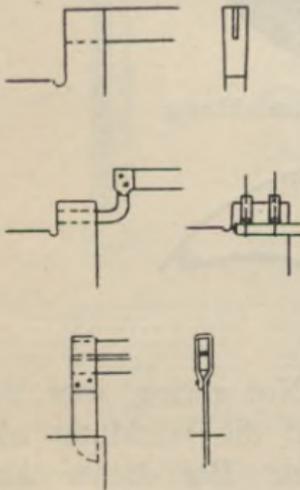


Fig. 44.

bestehen bei Maschinen neuerer Konstruktion fast ausnahmslos aus hart gezogenem Kupfer. Die Isolation zwischen den einzelnen Segmenten besteht meistens aus Glimmer, ebenso die zwischen den Lamellen und der Büchse des Kommutators. Letztere wird meist aus Gußeisen und nur bei Maschinen für sehr hohe Tourenzahlen aus Schmiedeeisen hergestellt. Figur 42 zeigt eine typische Konstruktion eines Kommutators für eine kleine Maschine, während eine

Konstruktion für größere Maschinen in Fig. 43 dargestellt ist. Bei größeren Maschinen werden häufig Anker und Kommutatorbüchse in einem Stücke gegossen. Schließlich zeigt Figur 44 einige der gebräuchlichsten Methoden zur elektrischen Verbindung der Spulenden mit den Kommutatorlamellen.

### Bürstenhalter und Bürstenschieber.

Als Bürstenmaterial kommt entweder Metall oder Kohle in Betracht. Ersteres bei Maschinen für große Stromstärken, letztere fast immer bei Motoren. Im allgemeinen ist man bestrebt, wenn irgend möglich, Kohlebürsten zu verwenden, da ihre Behandlung einfacher ist als die von Metallbürsten und sie den

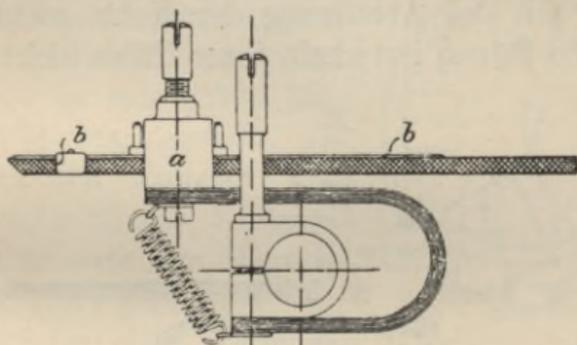


Fig. 45. Metallbürstenhalter.

Kommutator weit mehr schonen als letztere. Es werden bei vielen Maschinen auch aus Gründen einer funkenfreien Kommutierung Kohlebürsten verwendet.

Von den Metallbürsten sind die Metallblech- und die Kupfergewebebürsten von Bedeutung. Erstere bestehen aus mehr oder weniger dünnen Kupfer- oder Messingblechen, die unter Druck zusammengepreßt werden,

letztere aus feinem Kupfergewebe, das gefaltet und gepreßt wird.

Die Bürstenhalter für Metallbürsten müssen so konstruiert werden, daß letztere mit sanftem und gleichmäßigem Drucke gegen den Kommutator gepreßt werden. Der Kontakt zwischen Bürstenhalter und Bürste muß ein guter sein.

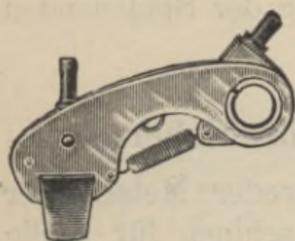


Fig. 46.  
Kohlenbürstenhalter.

Die Zahl der existierenden Bürstenhalterkonstruktionen ist sehr groß. Eine der gebräuchlichsten zeigt Figur 45.

Von Kohlenbürstenhaltern wird außer den vorerwähnten Bedingungen noch verlangt, daß die relative Lage der Bürste gegen den Kommutator sich mit der Abnützung der Kohle nicht ändere, und daß die Bürste innerhalb ihrer Hülse nicht vibriere.

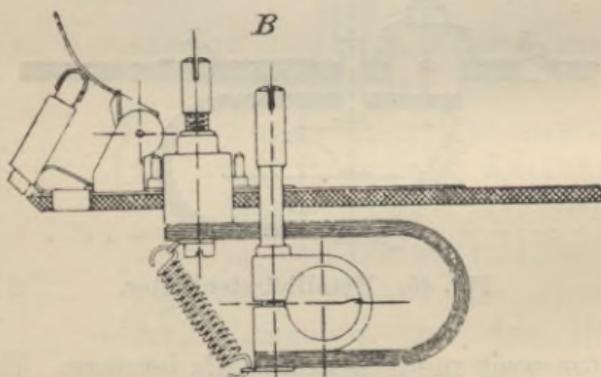


Fig. 47. Doppelbürstenhalter.

Einen Halter für Kohlenbürsten zeigt Figur 46. Schließlich zeigt Figur 47 noch einen Doppelbürstenhalter der E.-A.-G. vormals Schuckert & Co.

Die einzelnen Bürsten werden auf Bürstenstiften,

die letzteren auf sogenannten Bürstenschiebern isoliert befestigt. Es sind dies sternförmig ausgebildete, gußeiserne Ringe, die meist am Lagerbock radial verschiebbar angeordnet sind. Von den einzelnen Bürstenbolzen wird dann der Strom abgeleitet, bzw. ihnen zugeführt.

### Polschuhe, Magnetkerne und Joch.

Als Material kommt in Betracht: für die Polschuhe Schmiedeeisen (Eisenblech) und Gußstahl; für die Magnetkerne Schmiedeeisen und Stahlguß; für das Joch Gußeisen und Stahlguß.

Die einfachste Konstruktion würde etwa der Figur 48 entsprechen. Hier sind die Magnetkerne und das Joch

in einem Stücke gegossen und die ersteren ausgebohrt, eigene Polschuhe sind nicht vorgesehen. Konstruktiv ist eine solche Maschine wohl sehr einfach, sie hat jedoch den Nachteil, daß der Querschnitt des Luftzwischenraumes dem des Magnetkernes ungefähr gleich ist. Es wird daher bei einer angenommenen Luftinduktion  $B_l$  entweder der Kraftlinienfluß

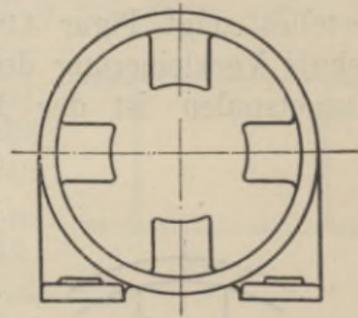


Fig. 48.

und damit die Leistung der Maschine zu klein, oder aber der Querschnitt des Magnetkernes zu groß gemacht werden müssen, was wieder einen großen Aufwand an Erregerkupfer bedingt.

In der Regel versieht man die Maschine daher mit besonderen Polschuhen, deren Querschnitt (= dem Querschnitt des Luftzwischenraumes) ungefähr das  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  fache des Magnetkernquerschnittes beträgt. Man

muß daher, um die Magnetspulen über dem Kern anbringen zu können, entweder die Polschuhe vom Magnetkern, oder aber den Magnetkern mit den Polschuhen vom Joch abnehmen können.

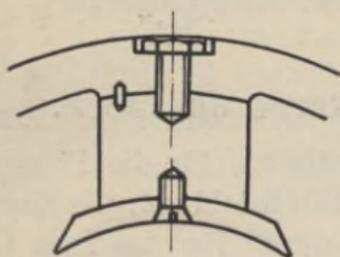


Fig. 49.

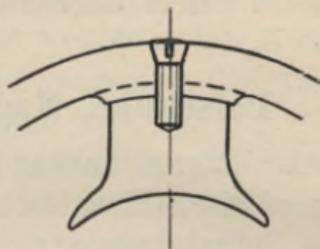


Fig. 50.

Eine häufig vorkommende Anordnung eines Magnetgestelles zeigt Figur 49. Das Joch ist aus Gußeisen. Behufs Verkleinerung der mittleren Windungslänge der Magnetspulen ist der Magnetkern aus Schmiedeeisen

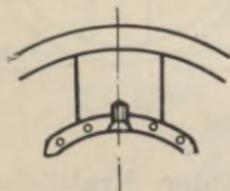


Fig. 51.

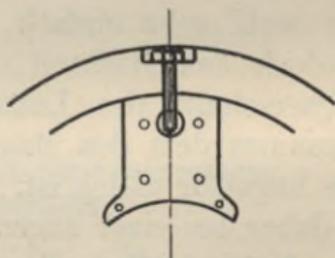


Fig. 52.

hergestellt und im Joche befestigt. Die ebenfalls aus Schmiedeeisen hergestellten Polschuhe sind an den Magnetkern angeschraubt. Figur 50 zeigt eine ähnliche Anordnung. Hier ist der Magnetkern in einem Stücke mit dem Polschuhe gegossen und beide an das Joch angeschraubt.

Zur Verminderung der Wirbelstromverluste in den Polschuhen werden sie häufig lamelliert, d. h. aus gestanzten

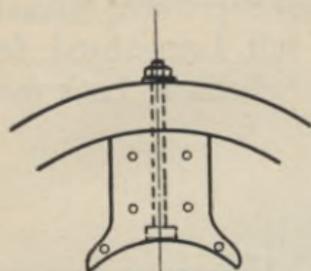


Fig. 53.

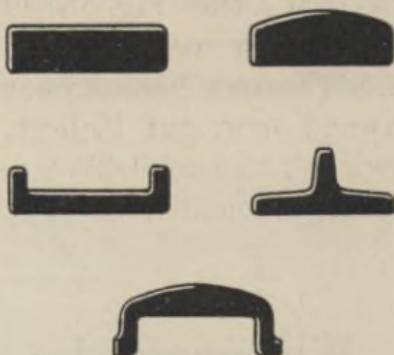


Fig. 54. Jochquerschnitte.

Blechstücken zusammengesetzt. Letztere werden dann mit den Magnetkernen entweder durch Schrauben verbunden (siehe Fig. 51) oder eingegossen. Sehr häufig werden Polschuhe und Magnetkerne aus Blech hergestellt (in einem Stücke gestanzt). Die Befestigung solcher Kerne am Joch zeigen Figur 52 und 53.

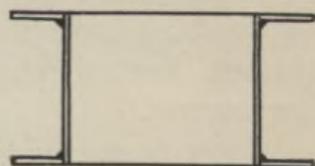


Fig. 55.

Der Jochquerschnitt ist bei kleineren und mittleren Maschinen meist rechteckig; bei größeren Maschinen wird zur Versteifung des Joches häufig einer der in Figur 54 angedeuteten Querschnitte gewählt.

Die Feldwick-

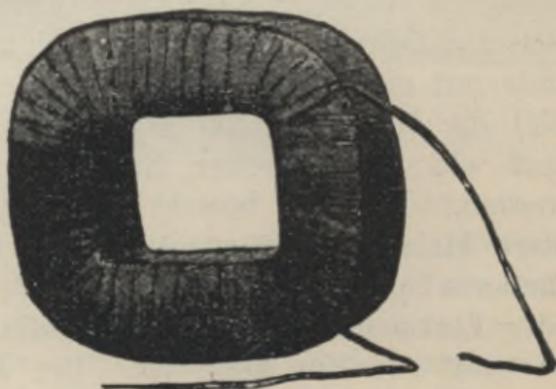


Fig. 56. Formspule.

lung wird entweder in besonderen Spulenkästen gewickelt oder in Holzformen. Die ersteren bestehen meist aus Zinkblech (siehe Fig. 55) und werden innen gut isoliert. Die letzteren werden, nachdem sie fertiggewickelt sind, aus den Formen herausgenommen, mit Segeltuch, Mikanitleinwand usw. gut isoliert, dann mit Leinenband fest umwickelt und schließlich noch mit Schellack, Lack usw. gestrichen (siehe Fig. 56).

## V. Wirkungsweise und Verwendungsgebiet von Gleichstrommaschinen.

### Nebenschluß-Generatoren.

Nebenschluß-Generatoren finden die ausgedehnteste Verwendung sowohl in Einzelanlagen als auch in elektrischen Zentralstationen für Beleuchtung und Kraftübertragung.

Generatoren für Einzelanlagen sollen reichlich dimensioniert, bzw. ziemlich weit überlastungsfähig sein. Auch soll ihre Spannung bei Belastungsschwankungen nicht innerhalb zu weiter Grenzen variieren. Außer einem Nebenschlußregulator sollten Maschinen für Einzelanlagen stets mit einem Volt- und Amperemeter versehen sein. Soll die Maschine ohne ständige Wartung arbeiten, so muß ein automatischer Nebenschlußregler vorgesehen werden. Derselbe besteht prinzipiell aus einem durch einen kleinen Motor angetriebenen Widerstand; ein besonderes Spannungsrelais schaltet den Motor für Rechts- oder Linkslauf ein, je nachdem die Generatorspannung zu groß oder zu klein ist. Der Motor schaltet dann einen Teil des Widerstandes ein oder aus.

In Einzelanlagen, in denen keine Akkumulatoren verwendet werden, werden statt Nebenschlußgeneratoren häufig auch Compoundmaschinen verwendet.

Auch von Maschinen für elektrische Zentralen wird in der Regel verlangt, daß ihre Spannung zwischen

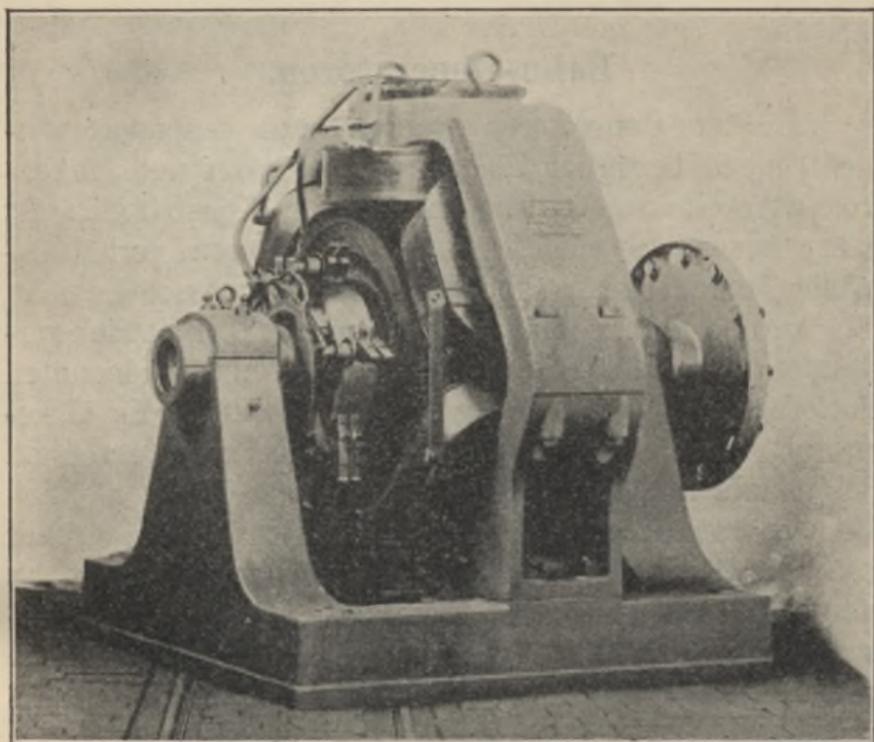


Fig. 57.

100 KW-Dynamo für direkte Kupplung mit der Dampfmaschine.

Leerlauf und Vollast in nicht zu weiten Grenzen schwankt. Ferner soll die Bürstenstellung bei allen Belastungen konstant bleiben.

Große Generatoren werden mit den Antriebsmaschinen meist direkt gekuppelt (siehe Fig. 57), oder der Dynamo-

anker wird direkt auf die Welle der Antriebsmaschine aufgesetzt.

Arbeiten in einer elektrischen Zentrale die Generatoren parallel mit Akkumulatoren, so erfolgt die Ladung derselben durch besondere Zusatzmaschinen (siehe Seite 96).

### **Bahn-Generatoren.**

An Bahn-Generatoren werden ganz besondere Anforderungen bezüglich Überlastungsfähigkeit und funkenfreies Arbeiten gestellt. Ihre solide Konstruktion ist daher besonders wichtig, und wird durch verhältnismäßig langen Anker mit kleinem Durchmesser erreicht.

Werden Nebenschlußgeneratoren zum Bahnbetrieb verwendet, so arbeiten sie fast ausnahmslos mit sogenannten Pufferbatterien parallel; es werden dadurch die Generatoren sowie die Antriebsmaschinen sehr geschont. Bei plötzlich auftretenden Überlastungen sinkt nämlich die Generatorspannung beträchtlich, so daß ein großer Teil der Belastung auf die Akkumulatoren übergeht. Man baut daher solche Generatoren mit großem Spannungsabfall, so daß schon bei geringen Überlastungen ein großer Teil derselben auf die Batterie übertragen wird.

### **Maschinen für Akkumulatorenladung.**

Arbeitet eine einzelne Maschine parallel mit Akkumulatoren, so werden die letzteren meist auch von der Dynamo direkt geladen. Die Dynamospannung muß bei einer Netzspannung von 110 Volt beim Laden bis ca. 160 Volt erhöht werden. Dies kann auf dreierlei Weise geschehen:

1. durch Erhöhung der Dynamo-Tourenzahl,

2. dadurch, daß die Maschine für eine etwas höhere, mittlere Spannung gebaut wird als die Netzspannung. Ist letztere 110 Volt, so wird die Dynamo für ca. 135 Volt bei normaler Tourenzahl gebaut. Im normalen Betrieb wird die Spannung mittels des Nebenschlußregulators auf 110 Volt hinabreguliert, während bei Kurzschluß des Regulierwiderstandes und Entlastung auf ein Drittel des normalen Stromes die Spannung auf ca. 155—160 Volt steigt.

3. Die Maschine wird so gebaut, daß sie bei normaler Spannung etwas unterhalb des Knies der Charakteristik arbeitet (siehe auch II. Teil, S. 63). Die Magnetwicklung ist so reichlich bemessen, daß die Maschine bei normaler Spannung mit einem ziemlich großen Nebenschlußregulierwiderstand arbeitet; wird derselbe kurzgeschlossen, so steigt dann die Dynamospaltung auf den Maximalwert (ca. 150—160 Volt).

Das erste Mittel (Änderung der Dynamotourenzahl) kann nur in Ausnahmefällen zur Anwendung gelangen, da in der Regel die Tourenzahl der Antriebsmaschine sich nicht in so weiten Grenzen ändern läßt. Das dritte Mittel ist ziemlich kostspielig, da die Maschine offenbar für ihre volle Leistung bei ca. 160 Volt berechnet werden muß, daher weit größer ausfällt, als es nur mit Rücksicht auf den normalen Betrieb (bei 110 Volt) nötig wäre. Ökonomischer ist hingegen der unter 2. angegebene Weg, der auch häufig eingeschlagen wird. Am besten empfiehlt es sich jedoch, insbesondere bei größeren Generatoren, eigene Zusatzmaschinen zur Ladung der Akkumulatoren zu benützen.

### Zusatzmaschinen.

Der Zweck einer Zusatzdynamo wurde bereits im II. Teile (S. 102) erläutert. Die an und für sich geringe Spannung einer Zusatzdynamo (für eine 110 Volt-Dynamo beträgt sie z. B. nur ca. 45—50 Volt) muß noch innerhalb ziemlich weiter Grenzen regulierbar sein. Auch hier läßt sich die Änderung der Spannung entweder durch Tourenänderung (Verwendung von Stufenscheiben) oder durch Regulierung im Nebenschluß erzielen. Beim Entwurf solcher Maschinen muß auf eine funkenfreie Kommutierung besondere Rücksicht genommen werden. Zur Vermeidung einer Umpolarisation der Pole werden Zusatzmaschinen stets von außen (meistens von der Hauptmaschine) erregt. Andernfalls könnte bei großer Stromstärke und geringer Spannung (schwacher Erregung) das kräftige Ankerfeld das schwache Magnetfeld zerstören bzw. umkehren.

### Maschinen für elektrochemische Zwecke.

Diese Maschinen müssen bei sehr geringen Spannungen — etwa 2—8 Volt — sehr starke Ströme liefern. Daraus ergibt sich eine sehr geringe Stab- und Lamellenzahl.

Um die Wirbelstromverluste in den Ankerleitern und den Kommutatorlamellen zu vermindern, müssen dieselben häufig unterteilt werden. Das gleiche gilt für die Polschuhe, der verhältnismäßig geringen Anzahl von Nuten wegen.

Würden solche Maschinen für Selbsterregung gebaut, so würde dies zu unzulässig großen Nebenschlußdrahtstärken führen. Man baut daher diese Maschinen beinahe immer für Fremderregung von ca. 50—150 Volt.

Beim Entwurf von Maschinen für elektrochemische Zwecke ist besondere Sorgfalt auf die Kommutierung zu verwenden; zwecks Erzielung einer funkenfreien Kommutierung werden solche Maschinen meist etwas

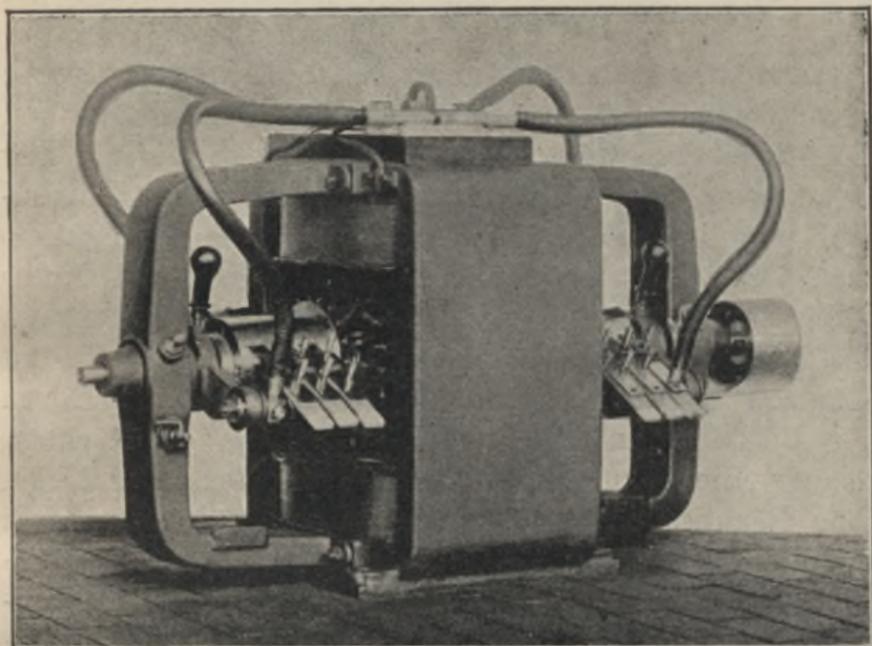


Fig. 58. Maschine für elektrochemische Zwecke.

reichlicher dimensioniert werden müssen, daher sie verhältnismäßig teurer ausfallen als Maschinen für mittlere Spannungen. Eine Maschine für ca. 500 Ampere bei 8 Volt zeigt Figur 58.

### Hauptschlußgeneratoren.

Dieselben werden nur selten gebaut, und zwar für folgende Zwecke:

1. zur reinen Kraftübertragung mittels einer Dynamo und eines Motors;

## 2. zur Hochspannungsübertragung, System Thury.

In ersterem Falle wird eine Seriendynamo von der Kraftmaschine angetrieben und die von der Dynamo erzeugte Energie mittels zweier Leitungen zum Motor übertragen. Dieses System der Kraftübertragung hat den Vorteil, daß der Motor ohne Anlasser von der Dynamo aus angelassen werden kann. Zu diesem Zwecke braucht man bloß den Hauptschalter zu schließen und die Antriebsmaschine langsam anlaufen zu lassen. Der Motor wird dann ebenfalls anlaufen, und seine Tourenzahl wird im selben Maße steigen als die der Dynamo bzw. der Antriebsmaschine. Sind Dynamo und Motor völlig gleich gebaut, so wird die Tourenzahl des letzteren der Dynamotourenzahl annähernd gleich sein. Es ist demnach bei diesem Systeme die Motortourenzahl von der Belastung nahezu unabhängig. Sie ist konstant, solange die Tourenzahl der Dynamo konstant bleibt. Eine Regulierung der Motortourenzahl läßt sich durch Regulierung der Tourenzahl der Dynamo bzw. der Antriebsmaschine erzielen, oder auch durch einen Regulierwiderstand parallel zu der Feldwicklung des Motors.

Das System Thury ermöglicht elektrische Kraftübertragungen auf große Entfernungen. Je nach Größe der zu übertragenden Kraft und der Entfernungen wird eine Reihe von Serienhochspannungserzeugern hintereinandergeschaltet. Ebenso werden sämtliche Motoren, die natürlich nicht am gleichen Orte sein müssen, sondern in beliebigen Entfernungen voneinander aufgestellt sein können, hintereinandergeschaltet. Die Stromstärke wird bei diesem Systeme konstant gehalten. Somit ändert sich die Spannung der Generatoren sowohl als auch der Motoren mit der Belastung. Um die Stromstärke und die Motortourenzahlen konstant halten zu können,

müssen sowohl Generatoren als Motoren mit Regulierapparaten ausgerüstet werden.

### Compoundgeneratoren.

Die Spannung eines Nebenschlußgenerators sinkt bekanntlich bei Belastung, während die eines Seriengenerators bei Belastung steigt. Soll die Spannung bei allen Belastungen völlig konstant bleiben, so muß die Erregung der Maschine durch eine gemischte oder eine Compoundwicklung geschehen (siehe II. Teil, S. 28).

Compoundgeneratoren werden öfters in kleinen Anlagen verwendet, die ohne Akkumulatoren arbeiten, und bei denen die Wartung auf ein Minimum beschränkt werden soll. Neuerdings werden Compoundgeneratoren auch häufig in großen Kraftzentralen, insbesondere in Zentralen für Straßenbahnen, verwendet. In solchen Fällen werden die Maschinen als Über-Compoundmaschinen ausgeführt, d. h. jede Maschine erhält eine größere Anzahl von Serienwindungen, als dies zur reinen Compoundierung nötig wäre. Es wird somit bei zunehmender Belastung die Spannung der Maschine steigen und so der in den Leitungen auftretende Spannungsabfall ganz oder teilweise ausgeglichen werden.

Zwecks Parallelschaltung von Compoundgeneratoren muß zwischen denselben eine besondere Ausgleichsleistung vorgesehen werden (siehe II. Teil, S. 66).

### Nebenschlußmotoren.

Die Geschwindigkeit von Nebenschlußmotoren ist, konstante Erregung vorausgesetzt, der Ankerspannung nahezu proportional, während das Drehmoment der Ankerstromstärke annähernd proportional ist. Wenn die

Klemmenspannung konstant ist, was in den meisten Fällen zutrifft, so wächst die Ankerstromstärke proportional mit der abzugebenden Leistung.

Nebenschlußmotoren werden somit überall dort verwendet werden, wo eine annähernd konstante Tourenzahl erwünscht ist, und wo plötzliche starke Überlastungen nicht in Frage kommen. Ein Nebenschlußmotor darf nämlich nur so stark überlastet werden, als dies mit

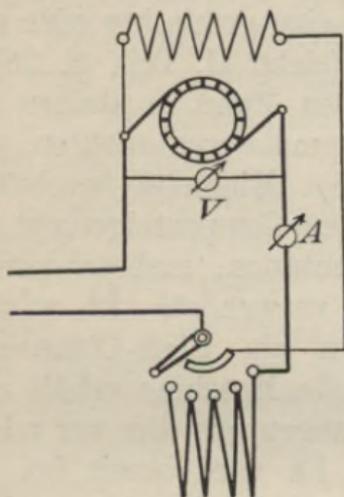


Fig. 59.

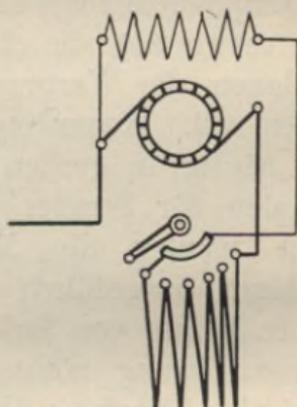


Fig. 60.

Rücksicht auf den Kupferquerschnitt der Ankerdrähte zulässig ist.

Das Anlassen von Nebenschlußmotoren geschieht durch besonders konstruierte Anlaßwiderstände. Selbstverständlich ist darauf zu achten, daß im Momente des Einschaltens die Magnete voll erregt, d. h. an die volle Klemmenspannung angeschlossen werden, während der Anker in Serie mit einem hinlänglich großen Widerstand geschaltet sein muß. Meistens wird dieser Widerstand so gewählt, daß im Momente des Einschaltens

der durch den Ankerstromkreis fließende Strom kleine oder gleich dem normalen Ankerstrom ist. Bezeichne man den letzteren mit  $J$  und den Ankerwiderstand mit  $W_a$ , so ist dann der Anlaßwiderstand

$$(58) \quad W_r = \frac{E}{J} - W_a.$$

Das vollständige Schaltungsschema eines Nebenschlußmotors mit Anlasser, Amperemeter und Voltmeter zeigt Figur 59. Ein Amperemeter soll stets vorgesehen sein, damit die Belastung des Motors stets kontrolliert werden kann. Die in Figur 60 angedeutete Schaltung des Anlassers bezweckt ein funkenfreies Ausschalten des Motors. Wird nämlich der Nebenschlußstromkreis eines Motors plötzlich unterbrochen, so wird infolge der im Nebenschluß erzeugten ziemlich großen EMK der Selbstinduktion an der Unterbrechungsstelle eine unter Umständen sehr bedeutende Funkenbildung auftreten. Um eine solche zu vermeiden, ist der Anlasser so geschaltet, daß nach Unterbrechung des Hauptstromkreises der Nebenschlußstromkreis durch den Anker und den Anlaßwiderstand geschlossen wird. Es kann somit der Selbstinduktionsstrom in dem so gebildeten Stromkreise unschädlich verlaufen. Beim Ausschalten muß man den Hebel rasch von Kontakt zu Kontakt bewegen, ihn am letzten Kontakt eine Weile lang stehen lassen, damit der Selbstinduktionsstrom ruhig verlaufen kann, und nachher den Stromkreis völlig unterbrechen.

Die Regulierung der Tourenzahl nach abwärts geschieht durch Vorschalten eines Regulierwiderstandes im Ankerstromkreis. Da die Tourenzahl bei konstanter Erregung der Ankerspannung proportional ist, so wird ein der Reduktion der Tourenzahl proportionaler Teil der

Spannung im Vorschaltwiderstand vernichtet. Es findet in letzterem somit ein Energieverlust statt, der der Reduktion der Tourenzahl proportional ist, so daß der Wirkungsgrad des Motors der Tourenzahl proportional ist.

Die Widerstände eines solchen Regulators müssen so dimensioniert sein, daß sie die volle Motorstromstärke für die Zeit der Regulierung aufnehmen können.

Eine Erhöhung der Motortourenzahl läßt sich durch Schwächung des Feldes, d. i. also durch Schwächung der Nebenschlußstromstärke erzielen. Nach Formel (12) ist

$$E = \frac{p Z_1 N_s \Phi}{a \cdot 10^8}$$

und daraus

$$(59) \quad N_s = \frac{E \cdot 10^8 a}{\Phi Z_1 p},$$

d. h. bei konstanter Spannung ist die Tourenzahl dem Kraftflusse  $\Phi$  umgekehrt proportional.

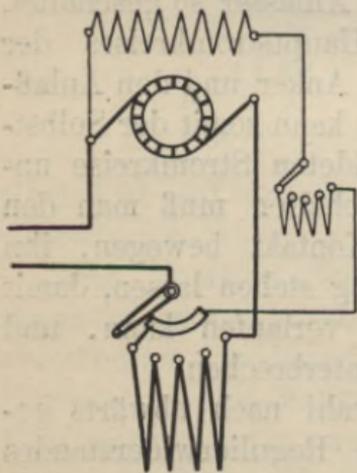


Fig. 61.

Das Schema eines Motors mit Anlasser und Nebenschlußregulator zur Erhöhung der Tourenzahl zeigt Figur 61. Beim Anlassen muß der ganze Nebenschlußwiderstand ausgeschaltet, d. h. die Magnete müssen voll erregt sein. Hat der Motor seine normale Tourenzahl erreicht, so kann dieselbe dann durch Einschalten des Nebenschlußwiderstandes allmählich erhöht werden. Die Erhöhung der Tourenzahl bzw. die Schwächung

des Feldes darf natürlich nur so weit getrieben werden,

als dies mit Rücksicht auf die mechanische Konstruktion des Ankers und Kommutators bzw. die funkenfreie Kommutierung zulässig ist; die Kommutationsbedingungen werden nämlich sowohl durch die Schwächung des Feldes, als auch durch die Erhöhung der Tourenzahl verschlechtert, so daß in den meisten Fällen die Bürsten bei erhöhter Tourenzahl verschoben werden müssen.

Bezüglich der Zugkraft sei bemerkt, daß dieselbe bei konstanter Ankerstromstärke der Feldstärke proportional ist, also mit wachsender Tourenzahl geringer wird. Soll jedoch die Zugkraft eines Motors bei allen Tourenzahlen konstant bleiben, so muß derselbe für ebendiese Zugkraft und die niedrigste erforderliche Tourenzahl dimensioniert werden.

### Serienmotoren.

Wie bei einer Seriendynamo die Spannung mit der Belastung wächst, so fällt bei konstanter Klemmen-

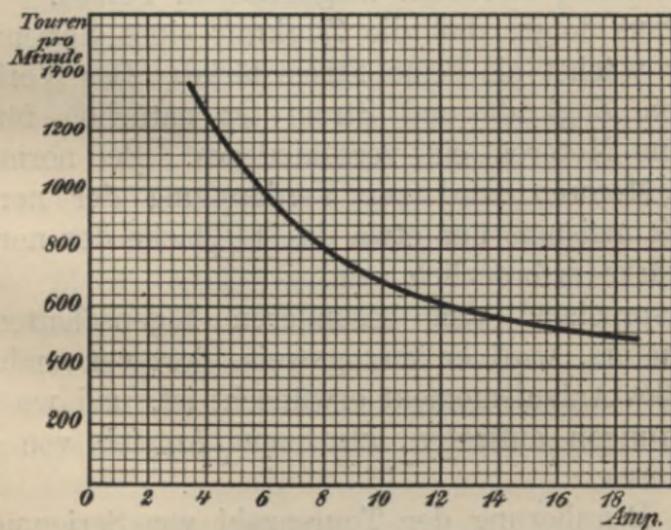


Fig. 62.

spannung die Tourenzahl eines Serienmotors mit der Belastung. Figur 62 zeigt die Charakteristik eines Serienmotors, d. i. seine Tourenzahl als Funktion der Belastung. Wir ersehen aus dieser, daß der Motor die Tendenz hat, bei völliger Entlastung eine sehr hohe Tourenzahl anzunehmen, d. h. „durchzugehen“. Demnach dürfen Serienmotoren nur dort verwendet werden, wo eine völlige Entlastung bzw. Leerlauf ausgeschlossen ist. Riemenantrieb ist daher bei Serienmotoren zu vermeiden, weil durch plötzliche Belastungsschwankungen der Riemen abgeworfen und der Motor so entlastet werden könnte.

Bei kleinen Motoren beträgt die Leerlaufsarbeit einen verhältnismäßig großen Teil der Normallast, so daß eine Gefahr des Durchgehens der Maschine hier nicht besteht.

Die Zugkraft eines Serienmotors wächst bei Belastung aus zwei Gründen:

1. infolge der größeren Ankerstromstärke, und
2. infolge des aus der größeren Magnetstromstärke resultierenden, stärkeren magnetischen Feldes.

Daraus folgt, daß die Zugkraft eines Serienmotors rascher wächst als seine Stromstärke. Das Verhältnis zwischen Zugkraft und Strom ist natürlich für verschiedene Motoren ein verschiedenes. Bei normal gebauten Motoren wird zur Verdopplung der normalen Zugkraft meistens nur etwa das  $1\frac{1}{2}$  fache der normalen Stromstärke erforderlich sein.

Entsprechend den besonderen Eigenschaften des Serienmotors, wird er vorzugsweise dort verwendet, wo ein großes Anlaufsmoment erwünscht ist, und wo starke Überlastungen auftreten, also zum Antrieb von Hebezeugen usw.

Die Regulierung der Tourenzahl von Serienmotoren geschieht ganz so wie bei Nebenschlußmotoren, nämlich

durch Hauptstromwiderstände für eine Regulierung nach abwärts und durch Feldschwächung für eine Erhöhung der Tourenzahl.

Eine Feldschwächung kann beim Serienmotor auf zweierlei Weise erzielt werden: man kann entweder parallel zur Magnetwicklung einen regulierbaren Widerstand anordnen, wie dies in Figur 63 gezeigt ist, oder

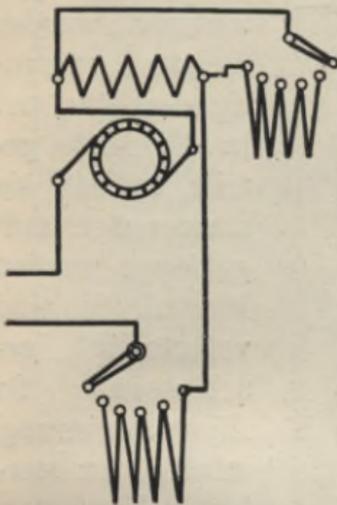


Fig. 63.

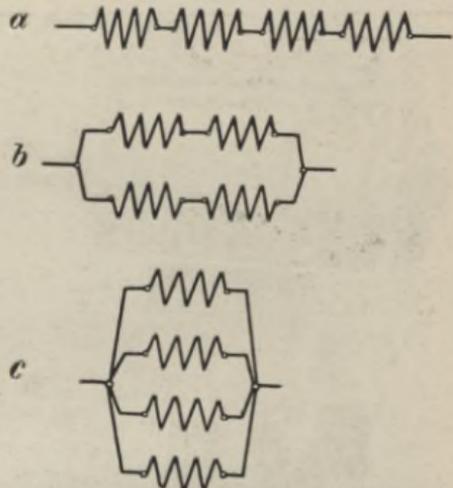


Fig. 64.

man kann durch verschiedene Schaltung der Magnetspulen untereinander die Gesamtamperewindungszahl und damit auch die Erregung ändern. Bei einem vierpoligen Motor wird man z. B. die Magnete nach Figur 64 *a*, *b* oder *c* schalten können. Für eine gewisse Belastung (Stromstärke) wird das Feld bei *a* am stärksten und bei *c* am schwächsten sein. Von dieser Schaltung wird häufig bei Bahnmotoren Gebrauch gemacht.

Zur Kraftübertragung werden manchmal auch Serienmotoren für konstante Stromstärke und variable Spannung verwendet (siehe auch S. 98).

Eine besondere Type von Serienmotoren sind die Bahnmotoren. Diese treiben entweder direkt oder indirekt durch Zahnräder die Wagenachsen an. Da solche Motoren nicht nur dem Straßenstaube, Schmutze und der Nässe, sondern auch sehr starken und plötzlichen mechanischen Überlastungen ausgesetzt sind, muß auf ihre Konstruktion ganz besondere Sorgfalt verwendet werden.

Die Bahnmotoren werden meistens vierpolig ausgeführt und in der Mitte geteilt, so daß sie nach unten aufgeklappt werden können. Sie sind vollständig geschlossen. Da Ringschmierung infolge der starken Erschütterungen schlecht funktionieren würde, sind Bahnmotoren

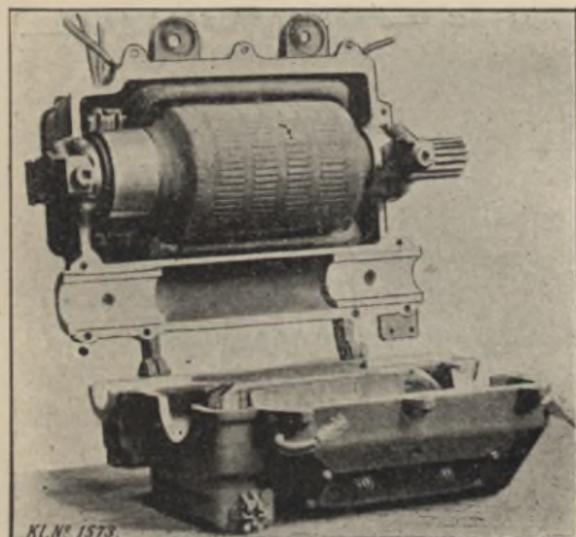


Fig. 65. Bahnmotor.

meistens für Fett- oder Vaselinschmierung eingerichtet. Figur 65 zeigt einen solchen Motor.

Das Anlassen sowie die Tourenregulierung von Bahnmotoren geschieht meist durch eine Schaltwalze, auch Kontroller genannt. Dieser besteht im wesentlichen aus einem um seine Achse drehbaren Zylinder, der am Umfange mit einer Anzahl von kürzeren oder längeren Metallsegmenten versehen ist. Am Umfange dieses Zylinders schleift eine Anzahl fixer, untereinander

isolierter Kontaktfinger, die in passender Weise mit den Widerständen, dem Anker und den Magneten verbunden sind. Durch Drehen des Zylinders läßt sich nun eine

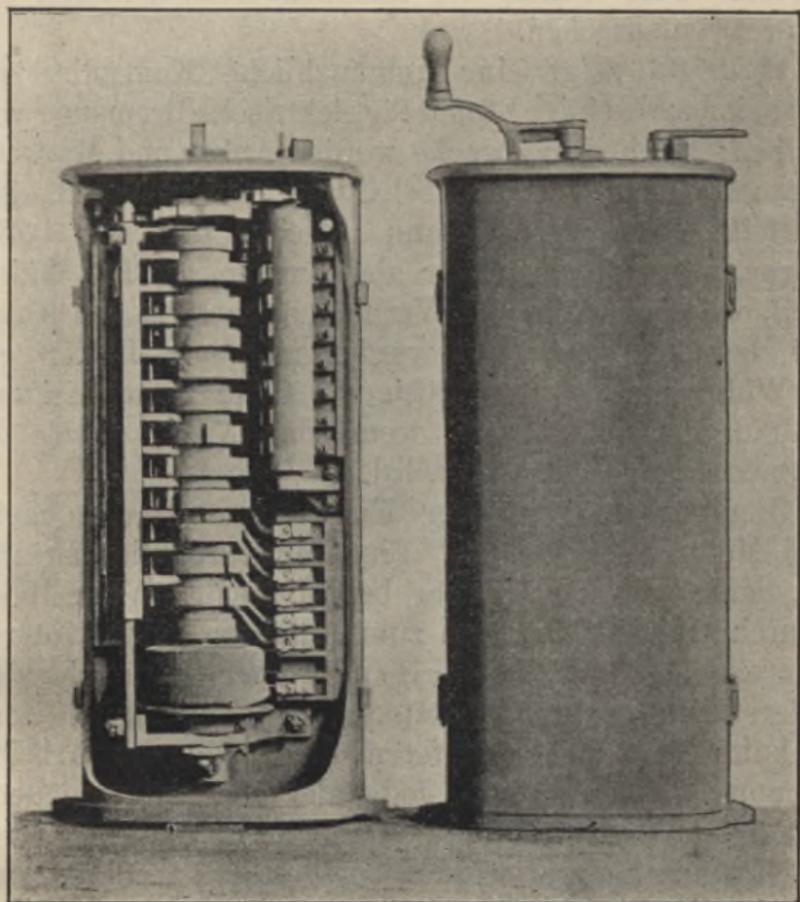


Fig. 66. Kontroller.

Anzahl von Schaltkombinationen erzielen. Z. B. können Anker, sämtliche Magnete und der ganze Regulierwiderstand hintereinandergeschaltet sein. Dies würde der Anlaufstellung des Motors entsprechen. Durch

weitere Drehung der Kurbel bzw. der Schaltwalze kann dann der Regulierwiderstand sukzessive ausgeschaltet und endlich auch noch alle Magnete parallel geschaltet werden. Dies würde der Maximalgeschwindigkeit der Motoren entsprechen.

Figur 66 zeigt eine gebräuchliche Kontrollertypen. Meist sind auch einige Stufen für elektrische Bremsung vorgesehen; zu diesem Zwecke werden Anker und Magnete, eventuell unter Zwischenschaltung von Widerständen, in Reihe geschaltet. Dann arbeitet der mit voller Tourenzahl laufende Anker als Dynamo auf den Widerstand, wobei natürlich die Verbindungen zwischen Anker und Magneten vertauscht werden müssen. Je geringer der Widerstand, desto kräftiger ist die Bremswirkung, die ein Maximum wird, wenn der Anker durch die Magnete kurzgeschlossen wird.

Zum Antrieb größerer Tramwagen werden meist zwei Motoren verwendet. Eine Tourenregulierung läßt sich außer in der bereits beschriebenen Weise noch dadurch erzielen, daß man zum Anfahren beide Motoren hintereinander und in Serie mit einem hinreichenden Widerstand schaltet. Letzterer wird allmählich ausgeschaltet, bis beide Motoren direkt an die Arbeitsspannung angelegt sind. Jeder der Motoren wird demnach mit halber Spannung und annähernd halber Tourenzahl laufen. Hierauf werden beide Motoren parallel und in Serie mit einem gewissen Widerstand geschaltet. Wird letzterer allmählich ausgeschaltet, so laufen schließlich die Motoren mit normaler Spannung und normaler Tourenzahl.

### **Compoundmotoren.**

Die Compoundwicklung kann auf zweierlei Weise angeordnet sein: entweder so, daß sie die Neben-

schlußwicklung unterstützt, oder derart, daß sie der Nebenschlußwicklung entgegenwirkt. Die letztere Schaltung, die eventuell den Zweck haben könnte, die Tourenzahl des Motors bei allen Belastungen konstant zu halten, kommt beinahe niemals zur Anwendung. Die erstgenannte Schaltung hat den Zweck, das Anlaufmoment des Motors zu erhöhen, indem der durch die Compoundwicklung fließende, meist ziemlich starke Anlaufstrom das Feld verstärkt und so die Zugkraft erhöht.

---

## VI. Die Prüfung von Gleichstrommaschinen.

Nach Fertigstellung einer Maschine wird dieselbe im Prüffelde gewöhnlich einer gründlichen Untersuchung unterzogen; der Zweck dieser Untersuchung ist ein vierfacher:

1. soll das Verhalten der Maschine bei Belastungsschwankungen usw. untersucht werden;
2. soll festgestellt werden, ob die Maschine die vorgeschriebene Leistung gibt;
3. soll festgestellt werden, ob die Maschine nach mehrstündigem Betrieb nicht zu warm wird;
4. soll das Güteverhältnis oder der Nutzeffekt der Maschine bestimmt werden.

Über das Verhalten einer Maschine geben uns die verschiedenen charakteristischen Kurven Aufschluß. Die unter 2. und 3. genannten Erfordernisse können nach einem mehrstündigen Dauerlauf festgestellt werden, während der Nutzeffekt nach einer der noch zu beschreibenden Methoden ermittelt werden kann.

### A) Die charakteristischen Kurven.

Leerlaufcharakteristik einer Nebenschlußdynamo.

Treibt man eine Nebenschlußdynamo mit konstanter Tourenzahl an und mißt die Klemmenspannung bei offenem äußeren Stromkreise und variabler Erregung (veränderlicher Stromstärke im Nebenschluß), so erhält

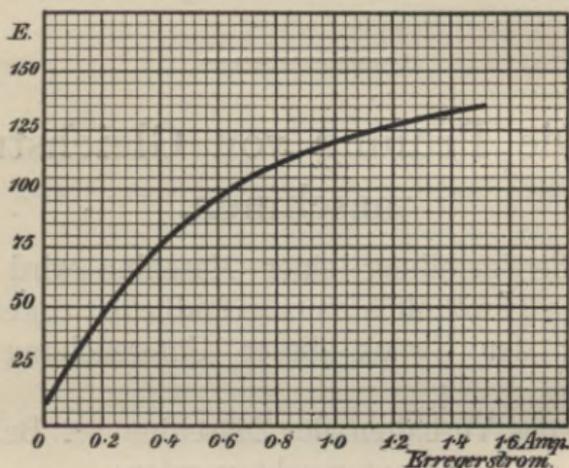


Fig. 67. Leerlaufcharakteristik einer Nebenschlußmaschine.

man die Leerlaufcharakteristik der Dynamo. In Figur 67 ist eine solche Charakteristik (Klemmenspannung als Funktion der Erregerstromstärke) gezeichnet. Aus dieser Kurve ist zu ersehen, daß die Klemmenspannung anfangs nahezu proportional mit der Erregung wächst, während bei größeren Erregerstromstärken die Kurve verflacht, d. h. die Spannung viel langsamer wächst als die Erregerstromstärke. Dies erklärt sich folgendermaßen: Für geringe Erregungen, also geringe Induktionen in der Maschine wächst die Feldstärke im Eisen nahezu pro-

portional mit den erregenden Amperewindungen; überdies überwiegen bei geringen Induktionen die Luftamperewindungen jene für das Eisen. Da die Luftamperewindungen der erregenden Kraft stets proportional sind, so erklärt sich daraus leicht die Proportionalität zwischen der erregenden Kraft und der Klemmenspannung. Bei hohen Induktionen im Eisen wächst, wie bekannt, die Feldstärke weitaus langsamer als die erregende Kraft. Da bei hohen Induktionen die Eisenamperewindungen einen beträchtlichen Teil der Gesamtamperewindungen ausmachen, so erklärt sich daraus auch das Abflachen der Kurve.

Unter gewissen Bedingungen — wenn die Bürsten in der neutralen Zone stehen und der Wickelschritt unverkürzt ist — entspricht die so ermittelte Leerlaufcharakteristik der Magnetisierungskurve der Maschine; diese Magnetisierungskurve ist, wie aus den obigen Bemerkungen hervorgeht, eine Kombination der Magnetisierungskurven der verschiedenen Teile des magnetischen Kreises der Maschine, nämlich des Ankers, Luftzwischenraumes, der Pole und des Joches.

Die Leerlaufcharakteristik gibt uns demnach Aufschluß über die Induktionsverhältnisse in der Maschine; auch läßt sich aus ihr erkennen, ob die Spannung der Maschine reichlich, d. i. leicht erhöhbar ist, oder nicht. Liegt die normale Spannung der Maschine am aufsteigenden Teile der Charakteristik, so läßt sie sich durch eine geringe Vergrößerung der Erregung erhöhen. Liegt jedoch die Normalspannung am flachen Teil der Charakteristik, so bedarf es zu einer gleichen Erhöhung der Spannung einer weitaus bedeutenderen Vergrößerung der Erregung.

Die Leerlaufcharakteristik kann entweder bei Selbsterregung oder bei äußerer Erregung bestimmt werden.

Der Unterschied zwischen den so bestimmten Kurven ist meist belanglos.

### Belastungscharakteristik.

Treibt man eine mit einem konstanten Strome erregte Dynamo mit konstanter Tourenzahl an, und mißt man die Klemmenspannung bei verschiedenen, allmählich steigenden Belastungen, so erhält man eine Kurve von der in Figur 68 angedeuteten Form. Wie aus dieser Kurve zu ersehen, fällt die Klemmenspannung einer

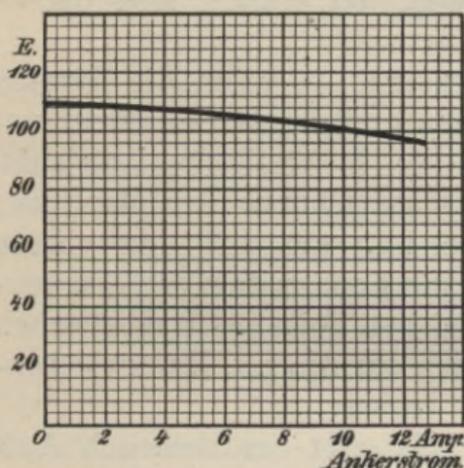


Fig. 68. Belastungscharakteristik einer Nebenschlußmaschine.

Dynamo bei konstanter Erregung, und zwar ist der Fall bei geringer Belastung dieser proportional, während bei größerer Belastung und Überlastung die Klemmenspannung rapid zu sinken beginnt. Die Ursache dieses Spannungsabfalles ist klar: erstens verursacht die wachsende Ankerstromstärke einen wachsenden Ohmschen Span-

nungsabfall, der sich auch rechnerisch leicht bestimmen läßt ( $e_1 = JW_a$ ); zweitens wird infolge der Rückwirkung des stromdurchflossenen Ankers das primäre oder Hauptfeld geschwächt, wodurch die im Anker induzierte EMK und damit auch die Klemmenspannung noch weiter fällt.

Eine Dynamo wird im allgemeinen um so besser sein, je geringer ihr Gesamtspannungsabfall bei Belastung ist. In den meisten Fällen, insbesondere bei Lichtmaschinen,

ist eine nahezu konstante Spannung bei allen Belastungen Bedingung. Um letztere zu erzielen, wird man daher den Nebenschluß der Maschine so dimensionieren müssen, daß die Spannung bei der maximal zulässigen Belastung noch auf das Normale gebracht werden kann. Man schaltet dann einen regulierbaren Widerstand in den Nebenschluß, so daß bei einer geringeren als der maximalen Belastung die Spannung, die infolge der Entlastung

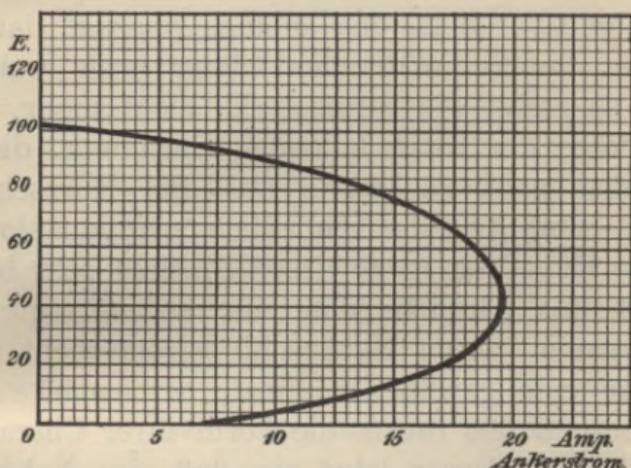


Fig. 69.

Charakteristik einer selbsterregten Nebenschlußdynamo.

gestiegen sein würde, durch Schwächung der Nebenschlußstromstärke wieder auf das Normale gebracht werden kann. Je geringer der Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollast, desto kleiner wird der erforderliche Nebenschlußwiderstand sein.

Die Belastungscharakteristik einer Nebenschlußdynamo wird gewöhnlich auch als äußere Charakteristik bezeichnet.

Ein besonderer Fall der Belastungscharakteristik ist die bei Selbsterregung einer Nebenschlußdynamo aufgenommene. Zu diesem Zwecke werden die Magnet-

klemmen direkt, d. i. ohne Zwischenschaltung eines Regulierwiderstandes, mit den Ankerklemmen verbunden, die Maschine mit konstanter Tourenzahl angetrieben und belastet, z. B. mittels eines Metallwiderstandes. Wird der letztere allmählich verringert, d. h. die Belastung der Dynamo erhöht, und bestimmt man für die verschiedenen Belastungsströme die zugehörigen Klemmenspannungen der Dynamo, so wird man eine der Figur 69 ähnliche Kurve erhalten. Die Klemmenspannung fällt bei zunehmender Belastung anfangs langsam, dann rapid. Wird der äußere Widerstand dann noch weiter verringert, so steigt die Stromstärke nicht mehr, sondern fällt infolge der rapid fallenden Spannung, die Kurve biegt daher nach rückwärts ab. Bei Kurzschluß der Maschine wird dieselbe schließlich spannungslos.

Diese Kurve ist in gewisser Hinsicht sehr lehrreich. Sie lehrt uns nämlich, daß eine selbsterregte Nebenschlußdynamo, deren Nebenschlußstrom nicht reguliert wird, nur eine gewisse maximale Stromstärke abgeben kann, deren Größe durch die Form ihrer Charakteristik bestimmt ist. Ferner lehrt sie, daß eine Nebenschlußdynamo bei plötzlichem Kurzschlusse nicht verbrennt, sondern spannungslos wird.

#### Leerlaufscharakteristik eines Nebenschlußmotors.

Zur Bestimmung der Leerlaufscharakteristik eines Nebenschlußmotors schließt man denselben an eine konstante Spannung an und schwächt seine Nebenschlußstromstärke allmählich durch Vergrößerung eines in den Nebenschlußstromkreis eingeschalteten Regulierwiderstandes. Trägt man dann die Tourenzahl als Funktion der Nebenschlußstromstärke auf, so erhält man eine

Kurve, wie in Figur 70 dargestellt. Aus dieser Kurve ist zu ersehen, daß bei Schwächung des Feldes die Tourenzahl anfangs langsam, bei fortgesetzter Schwächung jedoch rapid steigt. Das Feld darf daher nur bis zu einem gewissen Grade geschwächt werden, wenn der Motor nicht durchgehen soll. Würde das Feld langsam bis zum völligen Verschwinden gebracht werden, so würde infolge der hohen Tourenzahl der Anker bersten.

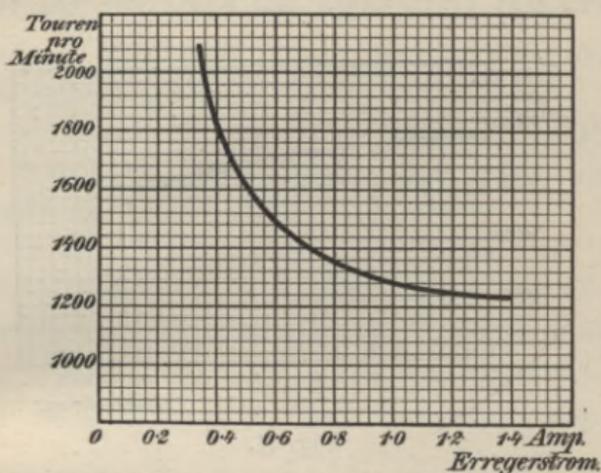


Fig. 70.

Wird jedoch der Anker eines Motors, dessen Nebenschluß bereits unterbrochen, dessen Feld also nahezu Null ist, an die Spannung angeschlossen, so sind zwei Fälle möglich: entweder das remanente Feld ist stark genug, um den Anker zum Anlaufen zu bringen, und in diesem Falle wird er wie zuvor durchgehen und bersten; oder aber das remanente Feld ist zu schwach, so daß der Anker nicht anlaufen kann. In diesem Falle wird der starke, durch den Anker fließende Strom den letzteren entweder übermäßig erhitzen oder verbrennen.

## Belastungscharakteristik.

Zur Bestimmung der Belastungscharakteristik wird der Motor zunächst in ganz normaler Weise angelassen und leerlaufen gelassen, wobei seine Tourenzahl genau gemessen wird. Dann belastet man den Motor allmählich (wobei die Klemmenspannung konstant zu halten ist) und mißt für die verschiedenen Belastungen die zugehörigen Tourenzahlen. Die Kurve, die man erhält, wenn man die Tourenzahl als Funktion des Belastungs-

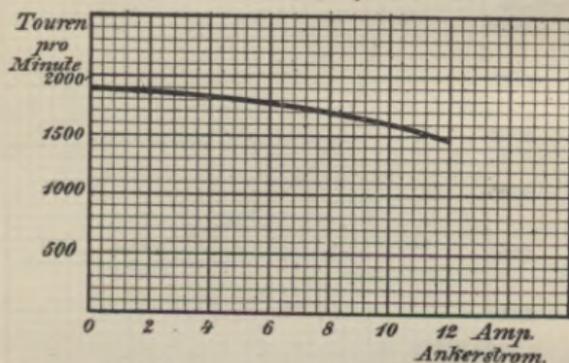


Fig. 71.

stromes (Ankerstromes) aufträgt, wird in den meisten Fällen der in Figur 71 dargestellten Charakteristik entsprechen, d. h. die Tourenzahl wird mit zunehmender Belastung sinken.

Die Ursache der Tourenänderung bei Belastung ist folgende: Infolge des steigenden Stromes steigt der Ohmsche Spannungsabfall im Anker, so daß die Gegen-EMK geringer wird. Dies würde also ein Fallen der Tourenzahl bei Belastung bewirken. Andererseits aber wird infolge der wachsenden Ankerrückwirkung das Hauptfeld geschwächt; diese Feldschwächung würde für sich allein ein Steigen der Tourenzahl bewirken.

Je nachdem nun der Ohmsche Spannungsabfall oder die Ankerrückwirkung überwiegt, wird die Tourenzahl bei Belastung fallen oder steigen. Halten sich Spannungsabfall und Ankerrückwirkung die Wagschale, so wird die Tourenzahl bei allen Belastungen konstant bleiben.

In den meisten Fällen überwiegt der Spannungsabfall, so daß die Tourenzahl bei Belastung sinkt. Dieser Tourenabfall beträgt je nach Größe und Bauart der Maschine 2—10% der normalen Tourenzahl.

Soll die Tourenzahl eines Nebenschlußmotors bei allen Belastungen vollkommen konstant bleiben, so pflegt man den Nebenschluß mit einem kleinen Regulierwiderstand zu versehen. Der Tourenabfall wird dann durch Feldschwächung kompensiert.

Leerlaufscharakteristik eines Seriengenerators.

Die Leerlaufscharakteristik eines Seriengenerators, die natürlich nur bei Außenregung aufgenommen werden kann, entspricht vollständig der eines Nebenschlußgenerators.

### Belastungscharakteristik.

Die Dynamo wird in der üblichen Weise, am besten mittels eines Widerstandes, allmählich belastet und die gemessenen Klemmenspannungen als Funktion der Belastungsstromstärken aufgetragen. Dies gibt eine Kurve von der in Figur 72 dargestellten Art.

Für  $J = 0$  ist die Klemmenspannung sehr klein (gleich der Remanenzspannung). Mit steigender Belastung wächst die Spannung, und zwar anfangs schnell, dann langsamer. Die Belastungscharakteristik entspricht hier nahezu der Leerlaufscharakteristik. Wird die Maschine weiter belastet und schließlich überlastet, so sinkt die Klemmenspannung wieder. Dies erklärt sich daraus,

daß bei sehr starker Erregung die Induktion nur sehr langsam wächst, während infolge des starken Stromes der Spannungsabfall im Anker und den Magneten ein großer ist.

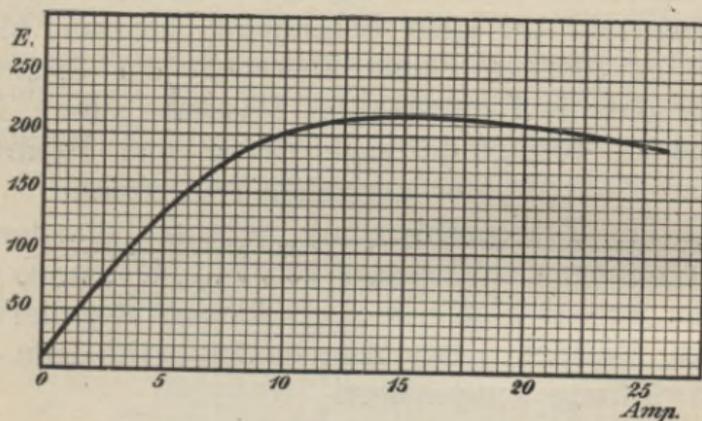


Fig. 72.

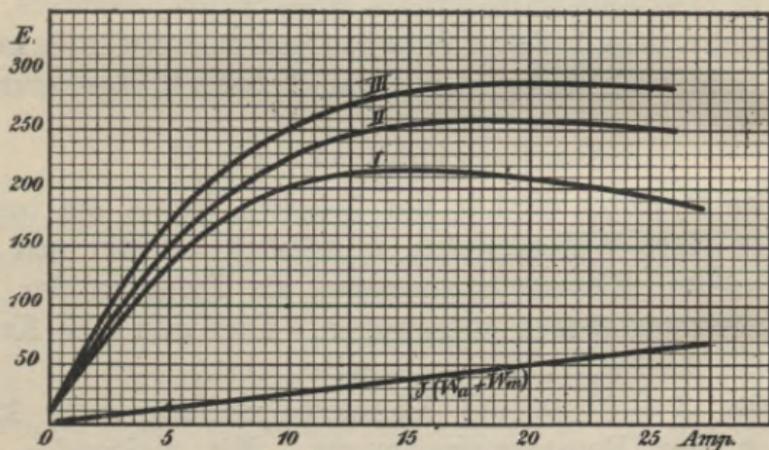


Fig. 73.

Aus der Belastungs- oder äußeren Charakteristik läßt sich leicht die innere Charakteristik konstruieren. Man braucht zu diesem Zwecke nur den Spannungsabfall

—  $J(W_a + W_m)$  — als Funktion des Stromes  $J$  aufzutragen (siehe Fig. 73). Addiert man die Ordinaten der so erhaltenen geraden Linie zu denen der Belastungscharakteristik (Kurve I), so erhält man die innere Charakteristik (Kurve II), welche die im Anker induzierte EMK als Funktion des Belastungsstromes darstellt. Wegen der durch die Ankerrückwirkung hervorgerufenen Schwächung des Hauptfeldes liegt die innere Charakteristik durchweg unterhalb der Leerlaufscharakteristik (Kurve III).

#### Leerlaufscharakteristik eines Serienmotors.

Die eigentliche Leerlaufscharakteristik eines Serienmotors läßt sich nicht bestimmen, da, wie bekannt, ein leerlaufender Serienmotor durchgehen würde. Man kann jedoch den Motor mit variablem Strome von außen erregen und für die verschiedenen Erregerströme die zugehörigen Tourenzahlen bestimmen. Die so erhaltene Leerlaufscharakteristik entspricht völlig der eines Nebenschlußmotors.

#### Belastungscharakteristik.

Diese erhält man, wenn man bei konstanter Klemmenspannung die Belastung des Motors ändert und dabei die den verschiedenen Belastungsströmen entsprechenden Tourenzahlen bestimmt. Figur 62 S. 103 zeigt eine solche Kurve für einen ungefähr 10 pferdigen Motor.

Als normale Tourenzahl eines Serienmotors bezeichnet man in der Regel jene, welche der normalen Belastung entspricht. Wie bekannt, steigt die Tourenzahl bei Entlastung, und zwar zuerst langsam, dann rapid. Die Belastungscharakteristik gibt unter anderem auch Aufschluß darüber, welches die minimale Stromstärke des

Motors sein darf, wenn er eine gewisse Tourenzahl nicht überschreiten soll.

### Belastungscharakteristik eines Compoundgenerators.

Zwecks Bestimmung derselben verfährt man genau

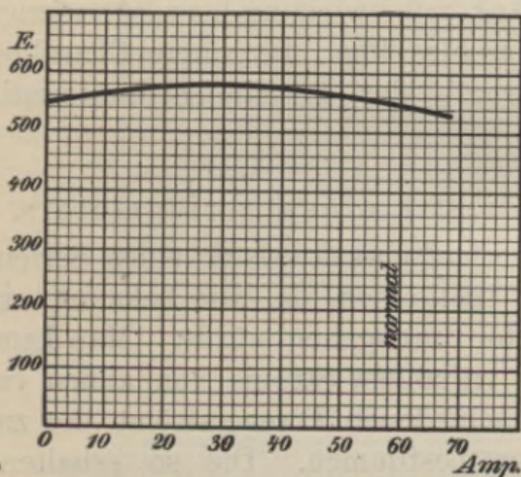


Fig. 74.

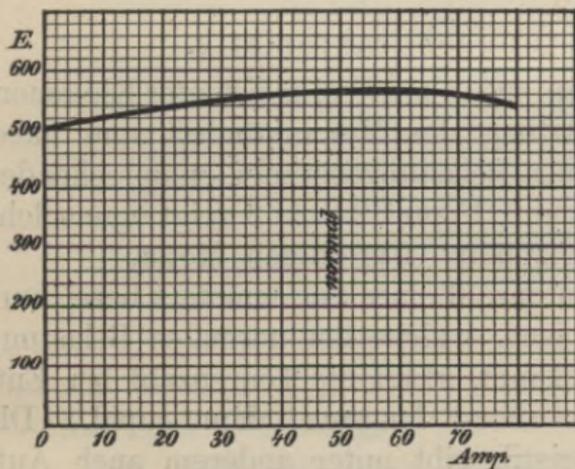


Fig. 75.

wie beim Nebenschlußgenerator, d. h. die Tourenzahl wird konstant gehalten und bei unverändertem Nebenschluß die Klemmenspannung der Maschine als Funktion der Belastung bestimmt.

Je nach Art der Kurve, die man aus diesem Versuch erhält, bezeichnet man die betreffende Maschine als Compound- oder Übercompoundmaschine. Die Charakteristik der ersteren ist in Figur 74 dargestellt. Die Spannung steigt bei Belastung an-

fangs ein wenig, erreicht bei etwa  $\frac{1}{2}$  der Normallast ein Maximum, das aber nicht beträchtlich über der Normalspannung liegt, um dann langsam wieder abzufallen. Bei ca.  $\frac{3}{4}$  bis  $1\frac{1}{4}$  der normalen Belastung wird die Normalspannung wieder erreicht.

Figur 75 zeigt die Charakteristik einer Übercompound-dynamo. Das Charakteristische einer solchen Maschine ist, daß ihre Spannung mit zunehmender Belastung steigt und erst bei Vollast oder Überlastung wieder zu sinken beginnt. Der Zweck der Übercompoundierung einer Maschine ist der Ausgleich des in der Leitung auftretenden Spannungsabfalles.

## **B) Die Bestimmung der Leistung und der Temperaturerhöhung.**

Die Bestimmung der Leistung und der Temperaturerhöhung erfolgt bei einem Generator in der Weise, daß man ihn mit normaler Tourenzahl antreibt, durch mehrere Stunden hindurch mit voller Belastung laufen läßt und dann bei der vorgeschriebenen Belastung bzw. Stromstärke die Erregung so einstellt, daß die Maschine ihre normale Spannung abgibt. Hierbei ist auch noch darauf zu achten, ob genügend Reserve vorhanden ist, d. h. ob sich bei konstanter Tourenzahl die Spannung noch um einiges erhöhen läßt. Dies ist deshalb von Wichtigkeit, weil es z. B. vorkommen kann, daß die Maschine in einem Raume zu arbeiten hat, dessen Temperatur höher ist als die des Prüfraumes. Kommt die Maschine in letzterem eben nur auf ihre Leistung, so würde sie bei der höheren Temperatur nicht mehr die volle Leistung abgeben können.

Die Belastung der Dynamo erfolgt entweder durch Widerstände oder, wenn ihre Spannung der des Netzes gleich ist, auf das letztere. Es ist in diesem Falle die zu untersuchende Dynamo mit den Maschinen der Zentralstation parallelgeschaltet. Durch Änderung der Erregung läßt sich die Belastung der zu untersuchenden Dynamo beliebig regulieren.

Motoren können in der Weise belastet werden, daß man sie auf eine Dynamo arbeiten läßt. Ist der Wirkungsgrad der letzteren bekannt, und mißt man die an den Klemmen der Dynamo abgegebene Energie, so läßt sich daraus auch die vom Motor abgegebene Leistung leicht berechnen.

Bezüglich der Belastung von Motoren mittels Bremse sei auf S. 125 verwiesen.

Ist die zu untersuchende Maschine mehrere Stunden hindurch mit voller Belastung gelaufen, so ist ihre Temperaturerhöhung zu bestimmen. Dieselbe darf nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker die folgenden Werte nicht überschreiten:

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Anker . . . . .      | 50° C, |
| Magnete . . . . .    | 55° C, |
| Kommutator . . . . . | 60° C. |

Die Temperatur des Ankers sowie des Kommutators ist durch Anlegen eines Thermometers zu bestimmen, während die Magnettemperatur aus der Erhöhung des Widerstandes rechnerisch zu ermitteln ist. Zieht man von den so erhaltenen Temperaturen die Temperatur des die Maschine umgebenden Raumes ab, so erhält man die Temperaturerhöhung der Maschine.

### C) Die Bestimmung des Nutzeffektes.

Den besten Aufschluß über den kommerziellen Wert einer Maschine gibt die Kenntnis ihres Nutzeffektes.

Der Nutzeffekt einer Gleichstrommaschine kann auf zweierlei Weise bestimmt werden:

1. durch direkte Messung der abgegebenen sowie der zugeführten Leistung (direkte Methode);

2. durch Bestimmung der abgegebenen oder zugeführten Leistung und der in der Maschine auftretenden Verluste (indirekte Methode).

#### Die direkte Methode.

Bezeichnet man die zugeführte Leistung mit  $L_z$ , die abgegebene Leistung mit  $L_a$ , so ist der Nutzeffekt

$$(60) \quad \eta = \frac{L_a}{L_z}.$$

Bei einer Dynamo läßt sich die abgegebene Leistung in einfachster Weise durch Messung der Stromstärke und Spannung bestimmen, während man sich zur Messung der zugeführten Leistung eines sogenannten Transmissionsdynamometers bedient. Aus der großen Zahl der existierenden Konstruktionen sei hier nur das verbreitetste Instrument dieser Art, das Dynamometer von Hefner v. Alteneck, kurz beschrieben.

Das Prinzip desselben besteht darin, daß sowohl die Spannung des treibenden, als auch die des ablaufenden Riemens gemessen wird. Bezeichnet man erstere mit  $S_1$ , letztere mit  $S_2$ , so ist der Riemenzug und deshalb auch die am Umfange der Scheiben wirkende Kraft

$$P = S_1 - S_2.$$

Das Dynamometer (siehe Fig. 76) besteht aus sieben Riemenscheiben, von denen die mittlere größte, die im Hebelarm  $H$  gelagert ist, sich mit diesem um die Achse  $A$  drehen kann. Hebel  $H$  ist mittels eines Winkelhebels mit dem Zeigerarm  $Z$  verbunden, auf dem zur Ausbalancierung des ganzen beweglichen Systems ein verschiebbares Gewicht  $G$  sitzt. Im Ruhezustand muß  $Z$  auf die Marke  $M$  einspielen.

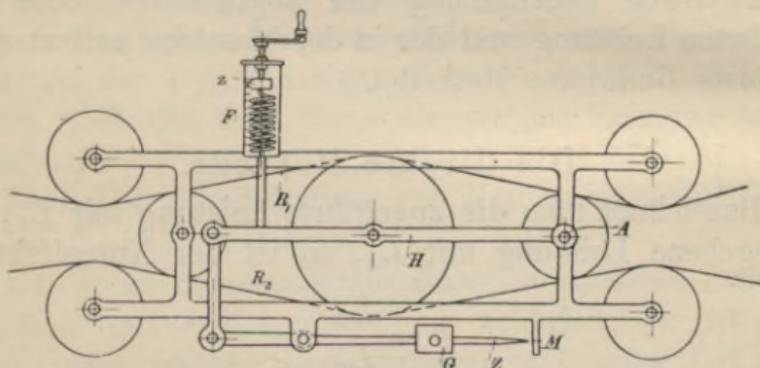


Fig. 76. Dynamometer.

Der treibende Riemen  $R_1$ , dessen Spannung größer ist als die des getriebenen  $R_2$ , drückt die bewegliche Scheibe nach abwärts und damit den Zeigerarm  $Z$  nach oben. Durch Drehen der Kurbel wird die Feder  $F$  so lange gespannt, bis  $Z$  wieder auf die Marke einspielt, d. h. die Differenz der beiden Riemenzüge ausbalanciert ist. Die hierfür nötige Spannung der Feder in Kilogramm zeigt der Zeiger  $Z$  an. Das Instrument wird empirisch geeicht und kann von Zeit zu Zeit dadurch nachgeeicht werden, daß man am Mittelpunkt der großen beweglichen Scheibe verschiedene Gewichte anhängt.

Die Einstellung des Instrumentes vor jedem Versuche geschieht in der Weise, daß  $Z$  in die Nullage

gebracht und dann das Gegengewicht  $G$  so lange verschoben wird, bis  $Z$  auf  $M$  einspielt.

Bei einem Motor läßt sich die zugeführte Leistung mittels eines Volt- und Amperemeters messen, während die abgegebene Leistung durch ein Bremsdynamometer bestimmt wird. Auch hier soll von der großen Anzahl der existierenden Apparate nur das älteste und weitestverbreitete, nämlich der Pronysche Zaum beschrieben werden.

In seiner einfachsten Ausführung besteht der Pronysche Zaum aus zwei Bremsklötzen, die mittels zweier Handräder gegen die Bremsscheibe gepreßt werden können (siehe Fig. 77). Rotiert die Bremsscheibe, so wird die zwischen dem Umfang der letzteren

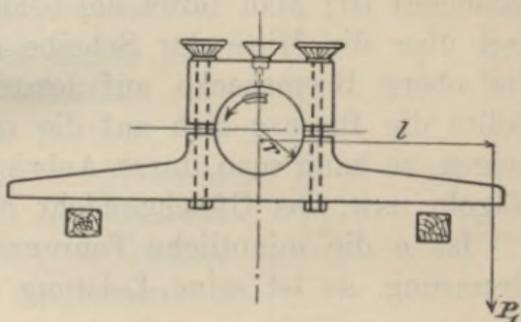


Fig. 77. Pronyscher Zaum.

und den Bremsbacken auftretende Reibung den Bremszaum mitzunehmen versuchen. Belastet man den einen Bremsarm mit dem Gewichte  $P_1$ , welches so zu wählen ist, daß der Bremszaum eben frei schwebt, d. h. also, daß zwischen der Umfangskraft der Bremsscheibe und dem Bremsgewichte Gleichgewichtszustand herrscht, so ist

$$(61) \quad x r = P_1 l,$$

wobei  $x$  die gesuchte Umfangskraft der Bremsscheibe am Radius  $r$  ist.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Gleichung nur dann Gültigkeit hat, wenn

a) der Bremshebel genau horizontal steht,

b) das Gewicht des Bremshebels bzw. des ganzen Zaumes genau ausbalanciert ist.

Ist die erste Bedingung nicht erfüllt, so lautet die Gleichung (61) wie folgt:

$$(62) \quad x r = P_1 l \cos \alpha ,$$

wobei  $\alpha$  jenen Winkel bezeichnet, den der Bremshebel mit der Horizontalen einschließt.

Man kann sich folgendermaßen davon überzeugen, daß das Gewicht des Bremshebels bzw. Bremszaumes ausbalanciert ist: Man lüftet die beiden Preßschrauben und legt über die Mitte der Scheibe eine Schneide, so daß die obere Bremsbacke auf letztere zu sitzen kommt. Sollte die Bremse sich auf die eine oder andere Seite neigen, so kann man durch Anbringen von Metallstücken, Nägeln usw. das Gleichgewicht herstellen.

Ist  $n$  die minutliche Tourenzahl des Motors bei der Bremsung, so ist seine Leistung in PS

$$(63) \quad L_{PS} = P_1 \frac{2 \pi n l}{60 \cdot 75} ,$$

wobei  $P_1$  in Kilogramm und  $l$  in Meter einzusetzen ist.

Macht man die Länge des Hebelarmes  $l = 0,715$  m, so ist

$$(64) \quad L_{PS} = 0 \cdot 001 \cdot n \cdot P_1 .$$

Für die Leistung  $L$  in Watt ergibt sich

$$(65) \quad L_w = \frac{2 \pi}{60} 9,81 P_1 l n = 1,027 P_1 l n ,$$

für  $l = \frac{1}{1,027} = 0,972$  ergibt sich

$$(66) \quad L_w = n P_1 .$$

Ist die abgebremste Leistung beträchtlich, so wird eine Kühlung der Brems Scheibe nötig. Am einfachsten ist es dann, mit Wasser zu kühlen, wobei am häufigsten die in Figur 77 angedeutete Anordnung gewählt wird.

Trotz Wasserkühlung ist in den meisten Fällen die lokale Erwärmung der Bremsflächen und damit auch die Wärmeausstrahlung nicht unbedeutend. Es ist daher empfehlenswert, zwischen Motor und Bremszaum eine Schutzwand vorzusehen, die den Motor überdies gegen umherspritzendes Wasser schützt.

Eine sehr einfache Bremse, die sich besonders für kleine Motoren eignet und den Vorteil hat, daß sie sich schnell und billig herstellen läßt, ist in Figur 78 dargestellt.

Ein mit U-förmigen Metallstücken versehener weicher Riemen, an dessen Ende sich eiserne Haken befinden, wird über die Riemenscheibe gelegt. Entsprechend der jeweiligen Belastung wird  $P_1$  vergrößert oder, was den gleichen Effekt hat,  $P_2$  verringert. Die U-förmig gebogenen Metallstücke haben den Zweck, ein seitliches Abrutschen des Riemen zu verhindern. Herrscht Gleichgewicht, so ist

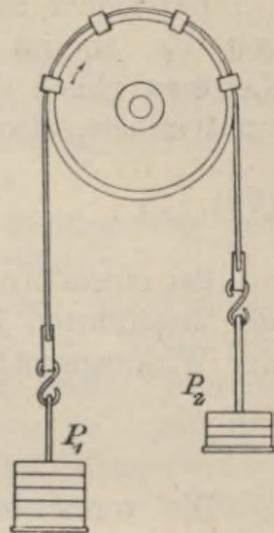


Fig. 78.

$$(67) \quad L_{PS} = \frac{2 r \pi n}{60 \cdot 75} (P_1 - P_2)$$

oder

$$(68) \quad L_w = \frac{2 r \pi n}{60} 9 \cdot 81 (P_1 - P_2) .$$

## Die indirekte Methode.

Das Prinzip dieser Methode besteht darin, daß man nicht die Leistungen, sondern die in der Maschine auftretenden Verluste bestimmt.

Bezeichnet man die Gesamtverluste einer Maschine mit  $V_z$ , so ist bei einer Dynamo die zugeführte Leistung gleich der abgegebenen Leistung + der Gesamtverluste, also der Wirkungsgrad

$$(69) \quad \eta = \frac{L_a}{L_a + V_z}.$$

Bei einem Motor ist die abgegebene Leistung gleich der zugeführten Leistung — der Gesamtverluste, also der Wirkungsgrad

$$(70) \quad \eta = \frac{L_z - V_z}{L_z}.$$

Die vorzunehmenden Messungen beschränken sich daher auf die möglichst genaue Messung der einzelnen Verluste. Wie bekannt, treten in einer Gleichstrommaschine viererlei Verluste auf, nämlich:

1. magnetische Verluste,
2. Ohmsche Verluste im Anker,
3. mechanische Verluste,
4. Erregerverluste.

Läßt man die Maschine — gleichgültig ob Dynamo oder Motor — mit normaler Erregung und normaler Tourenzahl laufen, so wird die hierbei verbrauchte Energie zur Deckung der magnetischen und mechanischen Verluste benützt; am vorteilhaftesten ist es, die Maschine als Motor laufen zu lassen. Zieht man von der vom Anker aufgenommenen Energie den geringen Ohmschen Verlust ab, so erhält man auf diese Weise die Summe

der magnetischen und mechanischen Verluste, die von der Belastung nahezu unabhängig sind. Mißt man dann den Ohmschen Widerstand des Ankers, so ergibt sich der Verlust durch Multiplikation des letzteren mit dem Quadrate der Ankerstromstärke.

Schließlich läßt sich der Erregerverlust in der Weise bestimmen, daß man bei normaler Belastung die Erregerstromstärke mißt. Die Multiplikation des Quadrates der letzteren mit dem Widerstand des Erregerstromkreises ergibt dann den Erregerverlust.

Das folgende Beispiel soll die Bestimmung des Wirkungsgrades eines Motors näher erläutern.

An einem 15 HP-Motor wurde der Ankerwiderstand zu 0,1 Ohm ermittelt. Wurde der Motor mit normaler Erregung (1 Ampere) und normaler Tourenzahl (880 pro Minute) laufen gelassen, so ergab die Messung 5 Ampere bei 220 Volt. Der Magnetwiderstand betrug 220  $\Omega$ , die normale Erregung 1 Ampere. Aus diesen Daten lassen sich die Verluste wie folgt berechnen:

1. magnetische und mechanische Verluste:

$$V_m + V_r = 5 \times 220 - 5^2 \times 0,1 = 1097,5 \text{ Watt};$$

2. Ohmscher Verlust im Anker:

$$V_o = 60^2 \cdot 0,1 = 360 \text{ Watt};$$

3. Erregerverluste:

$$V_e = 1^2 \cdot 220 = 220 \text{ Watt.}$$

Die Gesamtverluste betragen somit  $1097,5 + 360 + 220 = 1677,5$  Watt. Der Wirkungsgrad bei normaler Belastung, d. i. bei 60 Ampere

$$\eta = \frac{60 \cdot 220 - 1677,5}{60 \cdot 220} = 87,2\% .$$

## VII. Die Aufstellung und Wartung von Gleichstrommaschinen.

Zur Aufstellung von Gleichstrommaschinen ist ein möglichst trockener, kühler und staubfreier Ort zu wählen. Die Maschine ist auf einem guten Fundament aufzustellen, und zwar derart, daß Kommutator und Bürsten leicht zugänglich sind. Ist Riemenantrieb verwendet, so ist es zweckmäßig, zur Herstellung der erforderlichen Riemenspannung die Maschine auf Gleitschienen aufzustellen.

Die Kraftmaschine einer elektrischen Anlage muß einen sehr gleichmäßigen Gang besitzen, weil die geringste Ungleichheit in der Geschwindigkeit der Dynamo unangenehme Spannungsschwankungen zur Folge hat; die Ungleichmäßigkeit innerhalb einer Umdrehung soll  $\frac{1}{2}\%$  nicht erreichen. Die Kraftmaschine muß ferner ziemlich gut regulieren, damit sie ihre gleichmäßige Geschwindigkeit auch bei verschiedenen Belastungen beibehält. Der Regulator soll zwischen Vollbelastung und Leerlauf in der Geschwindigkeit einen größeren Unterschied als 3—4% nicht zulassen.

Die Verbindung zwischen Kraftmaschine und Dynamo erfolgt entweder durch Zusammenbau, Kupplung oder Riemen. Der für den Antrieb der Dynamo verwendete Riemen soll durchweg gleichmäßig stark sein; er darf deshalb keine gewundenen, sondern nur feingenähte oder geleimte Verbindungsstellen besitzen. Die Achse der Kraftmaschine und der Dynamo müssen genau parallel gestellt werden, damit der Riemen auf der Riemenscheibe läuft. Beim Aufbau der Maschine ist mit Rücksicht auf einen günstigen Riemenantrieb darauf zu

achten, daß die beiden Achsen möglichst in gleicher horizontaler Ebene liegen.

Die Lager der Dynamomaschinen sind in den allermeisten Fällen mit Ringschmierung versehen. Leichte Messingringe sind über die Achse gehängt und tauchen mit ihrem unteren Teil in einen Öltrog. Durch die Bewegung des Wellenzapfens werden die Ringe in Drehung versetzt und bringen dabei Öl in die Lagerschalen. Das Öl fließt, nachdem es die Lager durchlaufen hat, in den Öltrog zurück, so daß während des Ganges der Maschine eine fortwährende Ölzirkulation stattfindet. Vor dem ersten Anlassen der Maschine ist es zweckmäßig, die Lager dadurch zu reinigen, daß man auf die Schmierringe innerhalb der Lager wiederholt Petroleum aufgießt. Das Petroleum durchfließt die Lagerschalen, spült die Schmutzteile fort und sammelt sich in dem Öltrog an, aus dem es durch einen meist seitlich am Lagerbock angebrachten, mitunter auch zu einem Hahn ausgebildeten Ölstandszeiger abgelassen wird. Nachdem das Petroleum entfernt ist, wird durch eine oben am Lagerbock befindliche, durch einen Deckel geschlossene Öffnung so viel Öl eingegossen, bis es zur Marke des Ölstandszeigers reicht; keinesfalls darf der Ölspiegel den tiefsten Punkt der seitlichen Öffnung des Lagers erreichen. Hierauf wird der über dem Schmierring oben auf dem Lagerbock angebrachte Deckel geöffnet und während des Ganges der Maschine beobachtet, ob die Schmierringe gleichmäßig laufen. Während des Betriebes dürfen die Lager nur mäßig warm werden; ein Heißlaufen der Lager deutet darauf hin, daß die Schmierung nicht ordnungsgemäß funktioniert, daß die Lager verschmutzt sind, oder daß der Riemen zu straff gespannt ist. Läßt sich durch wiederholtes Aufgießen

von frischem Öl auf die Achse oder durch Nachlassen der Riemenspannung der Fehler nicht beheben, so muß die Maschine außer Betrieb gesetzt, der Anker herausgenommen und die Achse und Lagerschalen sorgfältig gereinigt werden.

Etwa einmal wöchentlich sind die Öltröge nachzufüllen, und einmal im Monat ist das Öl abzulassen, durch Filtrieren zu reinigen, wieder einzufüllen oder durch neues zu ersetzen.

Der Kommutator muß jederzeit vollkommen rund laufen, die Bürsten dürfen nicht schlagen. Unrunde Kollektoren müssen womöglich im betriebswarmen Zustande nachgezogen, abgedreht und geschlichtet werden. Die Kollektoren großer Maschinen sollen bei voller Tourenzahl mit der Schmirgelscheibe geschliffen und hierauf mit Glaspapier geschlichtet werden. Schmirgelpapier ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Kommutatoroberfläche muß glatt und rein sein und soll mit der Zeit einen bläulichen, hochglänzenden Spiegel bekommen. Der Kommutator ist im Betriebe öfters mit einem reinen, nicht faserigen Lappen, der mit gutem Maschinenöl wenig gefettet ist, zu reinigen, zu schmirgeln, um die infolge ungleicher Abnutzung vorstehenden Glimmerisolationen und Unreinlichkeiten der Lauffläche wegzunehmen. In den meisten Fällen ist jede Schmierung des Kommutators überflüssig. Dies gilt insbesondere bei Anwendung weicher Kohlsorten für große Stromstärken. Durch Unfall oder schlechte Wartung entstandene schwarze Brandstellen müssen sofort durch Schleifen oder Abdrehen gänzlich beseitigt werden, da sie den Kommutator noch mehr verschlechtern. Das Schleifen der Kommutatoren soll nie von freier Hand, sondern mit Hilfe eines Holzblockes geschehen, dessen

Rundung der Kommutatoroberfläche sehr genau angepaßt sein muß. Das Glaspapier wird in die Rundung gelegt und mit einer Klemmleiste festgehalten. Schnarren und Rasseln der Kohlen wird durch unrunden oder verunreinigten Kommutator, durch vorstehende Glimmerisolationen oder vorstehende Lamellen verursacht. Pfeifen oder Heulen der Kohlen wird durch Reinigung der Kohlenführungsflächen in den Gehäusen, durch geringes Einfetten und Glatthalten der Kommutatorlauffläche beseitigt.

Der Bürstenträger, auf dessen Bolzen die Bürstenhalter befestigt sind, läßt sich bei kleinen Maschinen gewöhnlich durch einen Handgriff verstellen und durch eine seitlich angebrachte Schraube oder einen Hebel auf seinen Lagerring festklemmen. Bei großen Maschinen geschieht die Verstellung des Bürstenträgers meist durch Drehung einer mit einem Handrad versehenen Schraubenspindel, deren Mutter im Bürstenträger gelagert ist. Die annähernd richtige Bürstenstellung ist durch rote Marken an den Magnetspulen oder dem Magnetjoche usw. angedeutet. Die genaue Bürstenstellung wird im Betriebe durch Einstellung auf möglichst funkenfreien Gang ermittelt. Hierzu werden bei Belastung eines Generators die Bürsten in der Drehrichtung etwas vor-, bei einem Motor etwas entgegen der Drehrichtung zurückgeschoben. Zeigt es sich bei der Aufstellung einer Maschine, daß die Drehrichtung umgekehrt werden soll, so sind die Bürstenhalter von ihrem Bürstenhalterbolzen abzunehmen und für die andere Drehrichtung passend wieder aufzustecken.

Kupferbürsten und Metallblechbürsten erlauben die Abnahme wesentlich stärkerer Ströme als Kohlenbürsten, dagegen besitzen Kohlenbürsten den Vorzug, den Kommu-

tator weniger abzunützen und selbst bei sehr verschiedener Belastung keine Änderung der Einstellung des Bürstenträgers zu erfordern. Bei Verwendung von flachen Bürsten aus Kupfergaze müssen die schleifenden Bürstenenden nach der Drehrichtung des Kommutators hinzeigen. Läuft der Kommutator gegen die Bürsten, so würde ein Druck die Bürsten zu knicken suchen und eine Verletzung der Kommutatorsegmente verursachen können. Die Metallbürsten sind so in die Halter einzuschieben, daß ihre abgeschrägten Flächen sich dem Kommutator anpassen und daß ihre Spitzen höchstens 5 mm vor dem Schutzblech hervorragen; in dieser Stellung werden sie durch eine auf ein Schutzblech drückende Schraube mit Hilfe eines Bürstenschlüssels festgeklemmt. Nach dem Einsetzen der Bürsten stellt man den Schlüssel auf die Schraube, durch die der Bürstenhalter auf seinem Bolzen befestigt wird, drückt durch Neigen des Schlüssels nach dem Kommutator hin die Bürste leicht gegen den Kollektor und stellt den Halter durch Anziehen der Schraube auf seinem Bolzen fest. Man prüft dann durch Aufheben der Bürsten mit dem Finger den von ihnen auf den Kommutator ausgeübten Druck und achtet darauf, daß alle Bürsten den gleichen, mäßig starken Druck ausüben. Auf jeden Bolzen sind in der Regel mehrere Bürstenhalter nebeneinander aufgesteckt, nur bei den kleinsten Maschinen trägt jeder Bolzen nur eine Bürste. Von den Bürsten eines und desselben Bolzens darf man während des Betriebes die Bürsten einzeln abheben, um sie von Schmutz zu reinigen und, falls sie abgeschliffen sind, vorzuschieben und zu erneuern. Ein gleichzeitiges Abheben sämtlicher Bürsten eines Bolzens darf dagegen während des Betriebes nicht erfolgen, da

der durch die Stromunterbrechung entstehende Lichtbogen Bürsten und Kommutator verbrennen würde. Ferner ist darauf zu achten, daß sämtliche Bürsten, die zu demselben Bolzen gehören, dasselbe Kommutatorsegment berühren. Nur bei Dynamomaschinen für sehr starken Strom, bei denen mehrere Ankerwicklungen parallelgeschaltet sind, bilden die Spitzen der Bürsten eine schräg über mehrere Kommutatorsegmente fortlaufende Linie. Bezüglich der Bürstenentfernung gilt das gleiche wie das später unter Kohlenbürsten Gesagte.

Die Behandlung der Kommutatoren und Kohlenbürsten, sowie die Qualität der letzteren üben einen sehr großen Einfluß auf den Gang einer Dynamo aus. Die verschiedenen Sorten von Kohlenbürsten zeigen große Unterschiede in bezug auf Härte, Dichtigkeit und Leistungsfähigkeit, so daß für jede Maschine eine ganz bestimmte Kohlensorte am besten arbeitet. Im allgemeinen werden Maschinen für höhere Spannungen mit harten Kohlensorten, solche für normale Spannungen und größere Stromstärken mit weicheren Kohlensorten geliefert.

Die Kohlen der einzelnen gleichpoligen Bürstenbolzen müssen in der Drehrichtung gegeneinander versetzt werden, so daß die Kommutatoroberfläche gleichmäßig abgenützt und ein Auftreten von Rillen vermieden wird. Die Bürstenentfernung ist von Spitze zu Spitze der Kohlen zu messen und muß

bei  $180^\circ$  Bürstenentfernung genau die halbe,

bei  $90^\circ$  Bürstenentfernung genau ein Viertel,

bei  $60^\circ$  Bürstenentfernung genau ein Sechstel

usw. der gesamten Kommutatorlamellenzahl betragen.

Sind die Kohlen wie beschrieben eingestellt, so sind die Bürstenbolzen und Bürstenhalter festzuziehen

und die Kohlen einzuschleifen. Das Einschleifen der Kohlen erfolgt mittels eines zwischen Kommutator und Kohle eingeschobenen Glaspapierstreifens, der so lange längs der Kommutatorrundung hin und her gezogen wird, bis die Kohle mit der ganzen Fläche am Kommutator aufliegt, was auch aus der Schleiffläche der Kohle zu ersehen ist.

Nun ist die Maschine am besten mit einem Handblasebalg von dem Kohlenstaube und der Kommutator noch mit einem etwas in Öl getränkten Lappen sorgfältigst zu reinigen. Schlecht eingeschliffene Kohlen verursachen einseitige Bürstenbelastung, Glühen der Kohlen, Heißwerden des Bürstenhalters und eventuell Auslöten der Leitungskabel für die Stromzuführung.

Vor dem Anlaufen sind zunächst die Bürsten, wie beschrieben, genau einzustellen, sämtliche Schrauben, Klemmen, Anschlüsse und Verbindungen sind nachzusehen; bei kleinen Maschinen ist der Anker von Hand aus einige Male herumzudrehen. Ferner ist auf die richtige Standhöhe des Öles in den Lagern und auf nicht zu große Riemenspannung besonders zu achten. Während des Betriebes ist das Mitlaufen und Ölheben der Schmierringe, sowie die Erwärmung der Lager durch Befühlen mit der Hand öfter zu beobachten; ebenso ist für möglichst funkenfreien Gang der Maschine Sorge zu tragen. Nach dem Abstellen ist die Maschine insbesondere von dem Bürstenstaube zu reinigen und die Erwärmung von Kommutator, Ankereisen, Wicklung, Bandagen, Lagern usw. durch Befühlen mit der Hand zum Zwecke der Kontrolle zu vergleichen. Bezüglich der Erwärmung der Maschine ist noch folgendes zu beobachten: Läuft ein Generator erregt, so daß er die normale Spannung gibt, jedoch unbelastet, d. h. ist der

äußere Stromkreis offen, so wird die im Laufe der Zeit auftretende Erwärmung an Magnetspulen, Magnetgestell, Ankereisen (hervorgerufen durch fast volle Magnet-erregungsstromstärke und Magnetisierung) nahe der Erwärmungsgrenze der Maschine liegen. Sie wird nur um wenig mehr zunehmen, auch wenn die Maschine mit normalem Strom belastet wird, da die hinzukommende Erwärmung durch Ankerstrom im allgemeinen nicht beträchtlich ist. Es könnte daher aus der Erwärmung bei Leerlauf leicht ein falscher Schluß auf die Erwärmung bei Vollast gezogen werden.



## Zeichenerklärung.

- $AS$  = Stromvolumen.  
 $AW_p$  = Amperewindungszahl pro Magnetspule.  
 $AW_z$  = Gesamtamperewindungszahl.  
 $a$  = halbe Anzahl von Ankerstromzweigen.  
 $\alpha$  = Verhältnis von Polschuhbreite zur Polteilung.  
 $B_a$  = Induktion im Ankereisen.  
 $B_l$  = Induktion im Luftspalt.  
 $B_p$  = Induktion in den Polen.  
 $B_z$  = Induktion in den Zacken.  
 $b_i$  = Polschuhbreite.  
 $b_k$  = Kommutatorbreite.  
 $b_l$  = Lamellenbreite.  
 $b_z$  = Nutenbreite.  
 $D$  = Ankerdurchmesser.  
 $D_i$  = Innerer Durchmesser.  
 $D_k$  = Kommutatordurchmesser.  
 $D_p$  = Polschuhbohrung.  
 $d_z$  = Zapfendurchmesser.  
 $\delta$  = Luftspalt (in Zentimeter).  
 $\delta_1$  = Blechstärke (in Millimeter).  
 $E$  = Spannung.  
 $E_k$  = Klemmenspannung.  
 $\mathcal{E}_k$  = EMK induziert in einer kurzgeschlossenen Ankerspule.  
 $e_1$  = Spannungsabfall.  
 $e$  = die in einer Ankerspule induzierte EMK.  
 $\varepsilon$  = Spannung zwischen zwei Lamellen.  
 $\eta$  = Hysteresiskoeffizient.  
 $J$  = Stromstärke.  
 $i$  = Strom pro Ankerdraht.  
 $i_1$  = Spezifische Stromstärke = Strom pro Quadratmillimeter.  
 $i_2$  = Strom pro Bürstenstift.

- $i_k$  = Kurzschlußstrom.  
 $i_n$  = Nebenschlußstrom.  
 $k$  = Lamellenzahl.  
 $k_1$  = Nutenzahl.  
 $k_f$  = Füllungsfaktor.  
 $L_a$  = Abgegebene Leistung.  
 $L_z$  = Zugeführte Leistung.  
 $l$  = Ankerlänge.  
 $l_1$  = Wirkliche Eisenlänge.  
 $l_m$  = Mittlere Windungslänge.  
 $l_z$  = Nutenlänge (Tiefe).  
 $l_z$  = Zapfenlänge.  
 $m$  = Bürstenzahl.  
 $m$  = Anzahl Spulen zwischen zwei Lamellen.  
 $N_s$  = Tourenzahl pro Sekunde.  
 $n$  = Tourenzahl pro Minute.  
 $n$  = Anzahl Bürstenstifte.  
 $O_a$  = Ankeroberfläche.  
 $O_m$  = Oberfläche der Magnetspulen.  
 $p_1$  = Periodenzahl.  
 $p$  = halbe Polzahl.  
 $\Phi$  = Kraftlinienfluß pro Pol.  
 $Q_b$  = Gesamtauflagefläche aller Bürsten in Quadratzentimeter.  
 $Q_l$  = Querschnitt des Luftzwischenraumes.  
 $Q_m$  = Wicklungsquerschnitt einer Magnetspule.  
 $Q_p$  = Polquerschnitt.  
 $Q_{ps}$  = Polschuhquerschnitt.  
 $q$  = Querschnitt eines Ankerdrahtes in Quadratmillimeter.  
 $q_b$  = Auflagefläche einer Bürste in Quadratzentimeter.  
 $q_u$  = Drahtquerschnitt der Magnetwicklung.  
 $\sigma$  = Wirbelstromkoeffizient.  
 $\sigma$  = Streukoeffizient.  
 $T$  = Temperaturerhöhung.  
 $t$  = Lufttemperatur.  
 $t$  = Polteilung.  
 $t_1$  = Endtemperatur.  
 $\left. \begin{array}{l} t_1 \\ t_2 \end{array} \right\}$  = Nutenteilung.  
 $t_r$  = Lagertemperatur.  
 $V_a$  = Ohmscher Verlust im Anker.  
 $V_b$  = Verlust durch Bürstenreibung.

- $V_i$  = Volumen des Stromzylinders.  
 $V_m$  = Erregerverlust.  
 $V_h$  = Hysteresisverlust.  
 $V_r$  = Reibungsverlust.  
 $V_w$  = Wirbelstromverlust.  
 $v$  = Umfangsgeschwindigkeit in m/sec.  
 $v_k$  = Umfangsgeschwindigkeit des Kommutators in m/sec.  
 $v_z$  = Zapfengeschwindigkeit.  
 $W_a$  = Ankerwiderstand.  
 $W_b$  = Spez. Kontaktwiderstand.  
 $W_c$  = Übergangswiderstand.  
 $w_n$  = Widerstand einer Magnetspule.  
 $W_r$  = Anlaßwiderstand.  
 $Z_1$  = Anzahl der Ankerdrähte.  
 $z_n$  = Windungszahl pro Spule.
-

# Register.

## A.

Amperewindungszahl 45.  
Ankerbolzen 73.  
Ankerdurchmesser,  
äußerer 25.  
—, innerer 35.  
Ankerfeld 57.  
Ankerinduktion 36.  
Ankerisolation 81.  
Ankerkonstruktion 79.  
Ankerlänge 25.  
Ankerrückwirkung 57.  
Ankertype 17.  
Ankerwicklung 17.  
Anlaßwiderstand 100.  
Ausstrahlungsoberfläche  
76.

## B.

Bahngeneratoren 94.  
Bahnmotoren 106.  
Bandagen 82.  
Belastung einer Dynamo  
122.  
— eines Motors 125.  
Belastungscharakteri-  
stik einer Neben-  
schlußmaschine 122.  
— einer Serienmaschine  
117.  
— einer Compoundma-  
schine 120.  
Bremsen 125.  
Bürstenhalter 87.  
Bürstenreibung 75.  
Bürstenschieber 89.  
Bürstenstifte 88.

## C.

Charakteristische Kur-  
ven 110.  
Compoundgenerator 99.  
Compoundmotor 108.

## D.

Deckscheiben 80.  
Drahtquerschnitt 30.

## E.

Effektverluste 65.  
Erregerverlust 129.  
Erregerwicklung 61.  
Erwärmung des Ankers  
75.  
— der Feldmagnete 75.

## F.

Feldkurve 57.  
Füllungsfaktor 62.

## G.

Gegenwindungen 52.

## H.

Hauptschlußwicklung 64.  
Hysteresis 68.

## I.

Innenpolmaschinen 5.

## J.

Joch 51, 89.  
Jochinduktion 48.  
Jochquerschnitt 91.

## K.

Kohlenbürsten 88.  
Kommutator 86.  
Kommutierung 52.  
Kontroller 107.  
Kurzschlußstrom 53.

## L.

Lagerreibung 74.  
Leerlaufcharakteristik  
eines Nebenschluß-  
generators 110.  
— eines Nebenschlußmo-  
tors 114.  
Luftreibung 74.  
Luftzwischenraum 52, 60.

## M.

Magnetgestell 89.  
Magnetische Verluste 67.  
Magnetisierungskurve 44.  
Magnetkerne 89.  
Magnetwicklung 61.  
Mechanische Verluste 73.  
Metallbürsten 87.  
Mitnehmer 83.  
Mittlere Windungslänge  
63.

## N.

Nebenschlußgeneratoren  
92.  
Nebenschlußmotoren 99.  
Nebenschlußwicklung 62.  
Nebenschlußwiderstand  
102, 113.  
Nutformen 83.  
Nutenteilung 34.

**P.**

Papierisolation 37.  
 Polinduktion 51.  
 Polquerschnitt 51.  
 Polschuhe 69, 72.  
 Polteilung 16.  
 Polzahl 22.

**R.**

Reibungskoeffizient 74.  
 Reibungskonstante 74.  
 Reibungsverluste 74.  
 Ringanker 17, 80.

**S.**

Schablonenwicklung 84.  
 Schaltwalze 107.

Seriengeneratoren 97.  
 Serienmotoren 103.  
 Serie-Parallelwicklung  
 19.  
 Spannungsverlust 40.  
 Spezifische Stromstärke  
 8.  
 Stabwicklung 85.  
 Streuungskoeffizient 41.  
 Stromvolumen 15.  
 Stromwärmeverluste 65.  
 Stromzylinder 9.

**T.**

Temperaturerhöhung 121  
 Tourenzahl 21.  
 Transmissionsdynamometer 124.  
 Trommelanker 81.

**V.**

Ventilationskanäle 37.

**W.**

Welle 78.  
 Wicklungsraum 61.  
 Wirbelströme 70.  
 Wirkungsgrad 123.

**Z.**

Zackeninduktionen 33, 49.  
 Zackenverluste 68, 70.  
 Zapfendimensionen 78.  
 Zapfengeschwindigkeit  
 74.

Verlag der G. J. Göschen'schen Verlagshandlung  
in Leipzig.

---

---

## **Elektrotechnik**

Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik  
von

**Professor J. Herrmann**

Erster Teil: **Die physikalischen Grundlagen**

Mit 47 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 196)

Zweiter Teil: **Die Gleichstromtechnik**

Mit 74 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 197)

Dritter Teil: **Die Wechselstromtechnik**

Mit 108 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 198)

---

## **Das Fernsprechwesen**

von

**Dr. Ludwig Rellstab**

Mit 47 Figuren und 1 Tafel

(Sammlung Göschen Nr. 155)

---

## **Die elektrische Telegraphie**

von

**Dr. Ludwig Rellstab**

Mit 19 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 172)

---

---

**Preis: In Leinwand gebunden je 80 Pfg.**

Verlag der G. J. Göschen'schen Verlagshandlung  
in Leipzig

---

---

## Die zweckmäßigste Betriebskraft

von

**Friedrich Barth**, Oberingenieur in Nürnberg

1. Teil: Die mit Dampf betriebenen Motoren nebst 22 Tabellen über  
ihre Anschaffungs- und Betriebskosten

Mit 14 Abbildungen

2. Teil: Verschiedene Motoren nebst 22 Tabellen über ihre An-  
schaffungs- und Betriebskosten

Mit 29 Abbildungen

(Sammlung Göschen Nr. 224 und 225)

---

## Die Maschinenelemente

Kurzgefaßtes Lehrbuch

mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch

von

**Friedrich Barth**, Oberingenieur in Nürnberg

Mit 86 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 3)

---

## Die Dampfmaschine

Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den  
praktischen Gebrauch

von

**Friedrich Barth**, Oberingenieur in Nürnberg

Mit 48 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 8)

---

## Die Dampfkessel

Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den  
praktischen Gebrauch

von

**Friedrich Barth**, Oberingenieur in Nürnberg

Mit 67 Figuren

(Sammlung Göschen Nr. 9)

---

---

Preis: In Leinwand gebunden je 80 Pfg.

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Logarithmen.** Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Professor an der Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 81.
- Logik.** Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Eisenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.
- Luther, Martin, Thom. Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Magnetismus.** Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.
- Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V.** von Dr. Rich. Muther, Professor an der Universität Breslau. Nr. 107—111.
- Maschinenelemente, Die.** Kurzgefasstes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.
- Maschanalyse** von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Nr. 221.
- Mathematik, Geschichte der,** von Dr. A. Sturm, Professor am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.
- Mechanik.** Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- Meereskunde, Physische,** von Dr. Gerhard Schott, Abtheilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.
- Metalle** (Anorganische Chemie 2. Teil) v. Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Königl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.
- Metalloide** (Anorganische Chemie 1. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.
- Meteorologie** von Dr. W. Trabert, Professor an der Universität Innsbruck. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.
- Mineralogie** von Dr. R. Brauns, Professor an der Universität Kiel. Mit 130 Abbildungen. Nr. 29.
- Minnesang und Spruchdichtung.** Walther v. d. Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Professor 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. Hochsch. Karlsruhe. Mit 50 Abbild. 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, Oberl. am Nikolaigymn. 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 17. und 18. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. Nr. 239.
- **des 19. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlags-handlung, Leipzig.

- Musiklehre, Allgemeine**, v. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.
- Mythologie, Deutsche**, von Dr. Friedrich Kauffmann, Professor an der Universität Kiel. Nr. 15.
- **Griechische und römische**, von Dr. Herm. Steuding, Professor am Kgl. Gymnasium in Würzen. Nr. 27.
- siehe auch: Helden-sage.
- Nautik**. Kurzer Abriss des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Theils der Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigations-Schule zu Lübeck. Mit 56 Abbildungen. 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 Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. d. Großh. landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Augustenberg. Mit 53 Figuren. Nr. 123.
- Pädagogik** im Grundriss von Professor Dr. W. Rein, Direktor des Pädagogischen 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 Abbildungen. Nr. 95.
- Perspektive** nebst einem Anhang üb. Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Frenberger, Oberlehrer an der Baugewerkschule Köln. Mit 88 Abbild. Nr. 57.
- Petrographie** von Dr. W. Brühns, Prof. a. d. Universität Straßburg i. E. Mit 15 Abbild. Nr. 173.
- Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben** von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.
- Pflanzenbiologie** von 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.
- 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 Figuren. Nr. 122.
- Pflanzenwelt, Die, der Gewässer** von Dr. W. Migula, Prof. an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 158.
- Pharmakognosie**. Von Apotheker F. Schmitthenner, Assistent am Botan. Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.
- Philosophie, Einführung in die**. Psychologie und Logik zur Einführ. in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Photographie**. Von Prof. H. Kessler, Fachlehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Tafeln und 52 Abbild. Nr. 94.
- Physik, Theoretische**, I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- — II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Univ. 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 Aufgabensammlung** von G. Mahler, Prof. d. Mathem. u. Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.
- Physikalische Formelsammlung** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Plastik, Die, des Abendlandes** von Dr. Hans Stegmann, Konservator am German. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.
- Poetik, Deutsche**, von Dr. K. Borinski, Dozent a. d. Univ. München. Nr. 40.
- Posamentiererei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Ind. zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Psychologie und Logik zur Einführ. in die Philosophie**, von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Psychophysik, Grundriß der**, von Dr. G. S. Lipps in Leipzig. Mit 3 Figuren. Nr. 98.
- Rechnen, Kaufmännisches**, von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139. 140. 187.
- Rechtslehre, Allgemeine**, von Dr. Th. Sternberg in Charlottenburg. I: Die Methode. Nr. 169.  
— II: Das System. Nr. 170.
- Redelehre, Deutsche**, v. Hans Probst, Gymnasialprofessor in Bamberg. Mit einer Tafel. Nr. 61.
- Religionsgeschichte, Indische**, von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.  
— — siehe auch Buddha.
- Religionswissenschaft, Abriss der vergleichenden**, von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.
- Roman. Geschichte d. deutschen Romans** von Dr. Hellmuth Mielle. Nr. 229.
- Russisch-Deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Erich Berner, Professor an der Universität Prag. Nr. 68.
- Russisches Lesebuch** mit Glossar von Dr. Erich Berner, Professor an der Universität Prag. Nr. 67.  
— — siehe auch: Grammatik.
- Sachs, Hans**. Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.
- Schattenkonstruktionen** v. Prof. J. Dunderlind in Breslau. Mit 114 Fig. Nr. 236.
- Schmarozer u. Schmarozerthum in der Tierwelt**. Erste Einführung in die tierische Schmarozerkunde v. Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univerf. Gießen. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.
- Schulpraxis. Methodik der Volksschule** von Dr. R. Senfert, Schuldir. in Olsnitz i. V. Nr. 50.
- Simplicius Simplissimus** von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeben von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.
- Sociologie** von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.
- Spitzenfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Sprachdenkmäler, Gotische**, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen v. Dr. Herm. Jantzen in Breslau. Nr. 79.
- Sprachwissenschaft, Germanische**, von Dr. Rich. Loewe in Berlin. Nr. 238.  
— **Indogermanische**, v. Dr. R. Meringer, Prof. a. d. Univ. Graz. Mit einer Tafel. Nr. 59.  
— **Romanische**, von Dr. Adolf Zauner, Privatdozent an der Universität Wien. I: Lautlehre u. Wortlehre I. Nr. 128.  
— — II: Wortlehre II u. Syntax. Nr. 250.
- Stammeskunde, Deutsche**, von Dr. Rudolf Much, a. o. Professor an d. Universität Wien. Mit 2 Karten und 2 Tafeln. Nr. 126.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig.

- Statik**, I. Teil: Die Grundlehren der Statik starrer Körper v. W. Hauber, diplom. Ing. Mit 82 Fig. Nr. 178.  
— II. Teil: Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr. 179.
- Stenographie** nach dem System von F. E. Gabelsberger von Dr. Albert Schramm, Mitglied des Kgl. Stenogr. Instituts Dresden. Nr. 246.  
— Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-System Stolze-Schren) nebst Schlüssel, Leseftücken u. einem Anhang v. Dr. Amsel, Oberlehrer des Kadettenhauses Oranienstein. Nr. 86.
- Stereochemie** von Dr. E. Wedekind, Professor a. d. Universität Tübingen. Mit 34 Abbild. Nr. 201.
- Stereometrie** von Dr. R. Glaeser in Stuttgart. Mit 44 Figuren. Nr. 97.
- Stilkunde** von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand in Lahr. Mit 7 Vollbildern und 195 Text-Illustrationen. Nr. 80.
- Technologie, Allgemeine chemische**, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.
- Teerfarbstoffe, Die**, mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.
- Telegraphie, Die elektrische**, von Dr. Eud. Reilstab. M. 19 Fig. Nr. 172.
- Textil-Industrie II**: Weberei, Wäscherei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Dir. der Königlichen Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.  
— III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Thermodynamik** (Technische Wärmelehre) von K. Walther und M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Fig. Nr. 242.
- Tierbiologie I**: Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Professor an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbildungen. Nr. 131.  
— II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Tiergeographie** von Dr. Arnold Jacobi, Professor der Zoologie an der Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.
- Tierkunde** v. Dr. Franz v. Wagner, Professor an der Universität Gießen. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60.
- Tierzuchtlehre**, Allgemeine und spezielle, von Dr. Paul Rippert in Berlin. Nr. 228.
- Trigonometrie, Ebene und sphärische**, von Dr. Gerh. Hessenberg, Privatdoz. an der Techn. Hochschule in Berlin. Mit 70 Figuren. Nr. 99.
- Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands i. d. Gegenwart** von Dr. Paul Stöckner, Gymnasialoberlehrer in Zwickau. Nr. 130.
- Urgeschichte der Menschheit** v. Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Univ. Wien. Mit 53 Abbild. Nr. 42.
- Versicherungsmathematik** von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Univ. Freiburg i. B. Nr. 180.
- Völkerkunde** von Dr. Michael Haberlandt, Privatdozent an der Univ. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.
- Volkslied, Das deutsche**, ausgewählt und erläutert von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.
- Volkswirtschaftslehre** v. Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 133.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Volkswirtschaftspolitik** von Geh. Regierungsrat Dr. R. van der Borgh, Präsident des Statistischen Amtes in Berlin. Nr. 177.
- Waltherlied, Das**, im Versmaße der Urschrift übersezt und erläutert von Prof. Dr. H. Althof, Oberlehrer a. Realgymnasium i. Weimar. Nr. 46.
- Walther von der Vogelweide** mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und a. d. Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.
- Warenkunde**, von Dr. Karl Hassaß, Professor an der Wiener Handelsakademie. I. Teil: Unorganische Waren. Mit 40 Abbildungen. Nr. 222.  
— II. Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbildungen. Nr. 223.
- Wärme. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme.** Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- Wärmelehre, Technische, (Thermodynamik)** von K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Figuren. Nr. 242.
- Wäscherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Webererei. Textil-Industrie II: Webererei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Wechselkunde** von Dr. Georg Sunt in Mannheim. Mit vielen Formeln. Nr. 103.
- Wirkerei. Textil-Industrie II: Webererei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Wolfram von Eschenbach. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg.** Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen u. Wörterbuch v. Dr. K. Marold, Prof. a. Kgl. Friedrichsfolleg. 3. Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Wörterbuch** nach der neuen deutschen Rechtschreibung von Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.
- **Deutsches**, von Dr. Ferd. Dettler, Prof. an d. Universität Prag. Nr. 64.
- Zeichenschule** von Prof. K. Kimmich in Ulm. Mit 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck u. 135 Voll- und Teiltbildern. Nr. 39.
- Zeichnen, Geometrisches**, von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearb. v. Prof. J. Vonderlinn, diplom. und staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.
- Zuckerindustrie. Die**, von Dr. ing. Ernst Leher, Assistent am Chem. Institut der Universität Bonn. Mit 11 Fig. Nr. 253.

# 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** von Prof. Dr. Rud. Böger in Hamburg. M. 5.—.
- 8 **Analytische Geometrie der Ebene** von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 6.—.
- 9 **Analytische Geometrie des Raumes I. Teil: Gerade, Ebene, Kugel** von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.—.
- 10 **Differential- und Integralrechnung I. Teil: Differentialrechnung** von Prof. Dr. W. Frz. Meyer in Königsberg. M. 9.—.
- 11 **Differential- und Integralrechnung II. Teil: Integralrechnung** von Prof. Dr. W. Franz Meyer in Königsberg. M. 10.—.
- 12 **Elemente der darstellenden Geometrie** von Dr. John Schröder in Hamburg. M. 5.—.
- 13 **Differentialgleichungen** von Prof. Dr. L. Schlesinger in Klausenburg. 2. Auflage. M. 8.—.
- 14 **Praxis der Gleichungen** von Professor C. Runge in Hannover. M. 5.20.
- 19 **Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungs-Rechnung** von Dr. Norbert Herz in Wien. M. 8.—.
- 20 **Versicherungsmathematik** von Dr. W. Grossmann in Wien. M. 5.—.
- 25 **Analytische Geometrie des Raumes II. Teil: Die Flächen zweiten Grades** von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.40.
- 27 **Geometrische Transformationen I. Teil: Die projektiven Transformationen nebst ihren Anwendungen** von Professor Dr. Karl Doehlemann in München. M. 10.—.
- 29 **Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen I. Teil** von Professor Dr. Victor Kommerell in Reutlingen und Professor Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. M. 4.80.
- 31 **Theorie der algebraischen Funktionen und ihrer Integrale** von Oberlehrer E. Landfriedt in Straßburg. M. 8.50.

# Sammlung Schubert.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 32 Theorie und Praxis der Reihen von Prof. Dr. C. Runge in Hannover. M. 7.—.                                                           | 42 Theorie der Elektrizität u. d. Magnetismus II. Teil: Magnetismus und Elektromagnetismus von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 7.—.                           |
| 34 Liniengeometrie mit Anwendungen I. Teil von Professor Dr. Konrad Zindler in Innsbruck. M. 12.—.                                     | 44 Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen II. Teil von Professor Dr. Victor Kommerell in Reutlingen u. Professor Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. M. 5.80. |
| 35 Mehrdimensionale Geometrie I. Teil: Die linearen Räume von Prof. Dr. P. H. Schoute in Groningen. M. 10.—.                           | 45 Niedere Analysis II. Teil: Funktionen, Potenzreihen, Gleichungen von Professor Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 3.80.                                       |
| 38 Angewandte Potentialtheorie in elementarer Behandlung I. Teil von Professor E. Grimsehl in Hamburg. M. 6.—.                         | 46 Thetafunktionen u. hyperelliptische Funktionen von Oberlehrer E. Landfriedt in Straßburg. M. 4.50.                                                             |
| 39 Thermodynamik I. Teil von Prof. Dr. W. Voigt, Göttingen. M. 10.—.                                                                   | 48 Thermodynamik II. Teil von Prof. Dr. W. Voigt, Göttingen. M. 10.—.                                                                                             |
| 40 Mathematische Optik von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 6.—.                                                                    | 49 Nicht-Euklidische Geometrie v. Dr. H. Liebmann, Leipzig. M. 6.50.                                                                                              |
| 41 Theorie der Elektrizität und des Magnetismus I. Teil: Elektrostatik und Elektrodynamik von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 5.—. |                                                                                                                                                                   |

In Vorbereitung bezw. projektiert sind:

- |                                                                                                                |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemente der Astronomie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.                                                      | Elliptische Funktionen.                                                              |
| Mathematische Geographie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.                                                     | Allgem. Formen- u. Invariantentheorie v. Prof. Dr. Jos. Wellstein in Gießen.         |
| Darstellende Geometrie II. Teil: Anwendungen der darstellenden Geometrie von Professor Erich Geyger in Kassel. | Mehrdimensionale Geometrie II. Teil von Professor Dr. P. H. Schoute in Groningen.    |
| Geschichte der Mathematik von Prof. Dr. A. von Braunmühl und Prof. Dr. S. Günther in München.                  | Liniengeometrie II. Teil von Professor Dr. Konrad Zindler in Innsbruck.              |
| Dynamik von Professor Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                                              | Kinematik von Professor Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                  |
| Technische Mechanik von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                                      | Elektromagnet. Lichttheorie von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg.                     |
| Geodäsie von Professor Dr. A. Galle in Potsdam.                                                                | Gruppen- u. Substitutionentheorie von Prof. Dr. E. Netto in Gießen.                  |
| Allgemeine Funktionentheorie von Dr. Paul Epstein in Straßburg.                                                | Theorie der Flächen dritter Ordnung.                                                 |
| Räumliche projektive Geometrie.                                                                                | Mathematische Potentialtheorie.                                                      |
| Geometrische Transformationen II. Teil von Professor Dr. Karl Doehle- mann in München.                         | Elastizitäts- und Festigkeitslehre im Bauwesen von Dr. ing. H. Reißner in Berlin.    |
| Theorie d. höh. algebraischen Kurven v. Dr. Heinr. Wieleitner in Speyer.                                       | Elastizitäts- und Festigkeitslehre im Maschinenbau von Dr. Rudolf Wagner in Stettin. |
|                                                                                                                | Graphisches Rechnen von Prof. Aug. Adler in Prag.                                    |
|                                                                                                                | Höhere Differentialgleichungen von Prof. J. Horn in Clausthal.                       |

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301310



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297989